

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-183185

(43)公開日 平成5年(1993)7月23日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 31/10				
G 0 2 B 6/12	B	7036-2K		
H 0 1 L 31/0232		8422-4M	H 0 1 L 31/ 10	A
		7210-4M	31/ 02	C
審査請求 未請求 請求項の数3(全 14 頁)				

(21)出願番号 特願平3-346605

(22)出願日 平成3年(1991)12月27日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72)発明者 田淵 晴彦

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 柏谷 昭司 (外1名)

PTO 2001-4407

S.T.I.C. Translations Branch

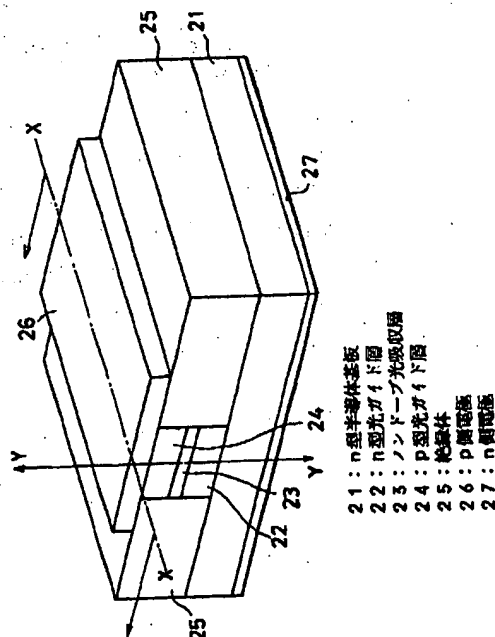
(54)【発明の名称】 半導体光電変換装置

(57)【要約】

【目的】 半導体光電変換装置に関し、光ファイバとの結合効率を向上させる為に厚い光ガイド層を用いた場合であっても、伝播光を光吸収層に効率良く集光させ得るようにして、光ガイド層を素通りする伝播光を低減させて受光量子効率の向上を実現しようとする。

【構成】 n型半導体基板21上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射されるn型光ガイド層22及びノンドープ光吸収層23及びp型光ガイド層24を備えてなり、該各光ガイド層22及び24の屈折率は光吸収層23に近い側が最も高く且つそこから離隔するにつれて低くなるように分布をもつようにしてある。

構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜断面図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層を備えてなり、

該各光ガイド層の屈折率は光吸収層に近い側が最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする半導体光電変換装置。

【請求項2】光ガイド層に於ける屈折率分布の形状が光吸収層に向かって開く放物線型をなしていることを特徴とする請求項1記載の半導体光電変換装置。

【請求項3】一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、

該各光ガイド層の何れか一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする半導体光電変換装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、結合効率並びに内部量子効率が高く、且つ、高い周波数応答性が得られるように、特に、光導波路を改善した半導体光電変換装置に関する。

【0002】現在、光通信の分野に於いては、大量の情報を高速でやりとりすることを可能にする為、コヒーレント光を利用する傾向が強まっている。然しながら、それを普遍化するには、ハードの面で改善しなければならない問題を多く抱えていて、半導体光電変換装置もその一つである。

## 【0003】

【従来の技術】図18はコヒーレント光通信を行う場合に用いるバランス型光受信装置を表す要部説明図である。図に於いて、1は光電変換装置、2はマイクロ波増幅器、3は気密封止を行う為の封止用窓、4は光を平行化或いは集光するレンズ、5は被変調光と局部発振光との混合並びに分割を行う光ファイバ・カプラなどの方向性結合器、6は被変調光、7は局部発振光をそれぞれ示している。図から明かなように、この光受信装置では、二つの受光面が集積化された光電変換装置1、マイクロ波増幅器2、方向性結合器5などが主たる構成要素となっている。

【0004】斯かる光受信装置に必要とされることを例示すると、

光電変換装置1として、高速で応答できるものであることが必要とされている。コヒーレント光通信に於いては、光の周波数間でビートをとることが行われているので、20 [GHz] ~ 30 [GHz] を越えるような

周波数でも充分に利用可能であることが望まれている。因に、周波数は高い程、伝送可能な情報量を大きくすることができる。

【0005】光電変換装置1として、高い量子効率をもつものであることが必要とされている。コヒーレント方式に於ける特徴の一つは、受信感度を向上できることが挙げられる。半導体の光吸収に依るキャリア発生現象を利用する光電変換装置を高速化する為には、光吸収層に於けるキャリア走行時間を短くすることが有効であり、従って、それを薄く形成しなければならないのであるが、そのようにすると量子効率が低下する。そこで、薄い光吸収層でありながら、高い量子効率を得られるようにしなければならない。

【0006】電子回路との電気的接続が容易であるようにすることが望まれ、特に、後段に接続される電子回路、例えば、図18に見られるマイクロ波増幅器2のようなものは、光電変換装置1と平面的に配設できるようにすることが好ましい。などが挙げられる。

【0007】図19は表面入射型或いは裏面入射型の光電変換装置を説明する為の要部斜面図であり、図18に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、1Aは光電変換装置1に於ける受光面、8は受光面1Aに入射する光をそれぞれ示している。図から明かなように、このような光電変換装置1を用いる場合、受光面1Aが入射光8に直面するような配置状態、即ち、光電変換装置1と入射光8とが直交するような構成となる。

【0008】ところで、光受信装置は、各部品を例えばプリント板に実装して組み立てるのであるが、高密度実装を可能にする為、全体を薄型に纏めることが望ましい。従って、光ファイバ、方向性結合器5、光電変換装置1、マイクロ波増幅器2などをプリント板などに直線状に配置して実装することが行われる。

【0009】図20は光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とを直線状に配置した状態を説明する為の要部斜面図であり、図18及び図19に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図示された配置状態では、光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とを平面的に接続することは不可能である。

【0010】図21は光電変換装置1とマイクロ波増幅器2との接続を説明する為の要部側面図であり、図18乃至図20に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、9は電気配線を示している。

【0011】図示の光電変換装置1は、表面入射型或いは裏面入射型であり、例えば、裏面入射型であれば、光電変換で得られた電気信号は表面側から取り出されるようになっているので、図から明かなように、この場合、電気配線9は90°に折り曲げなければ光電変換装置1とマイクロ波増幅器2との間を接続することができ

ない。斯かる構成にすることは不可能ではないにしても、製造は面倒であり、また、電気配線9を折り曲げて配設した場合、高周波特性が悪化するので、実際には、図20に見られるような配置は採用することができない。

【0012】図22は光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とを接続する上で望ましい配置を説明する為の要部斜面図であり、図18乃至図21に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。電気配線を施すことからすれば、図示されているように、光電変換装置1とマイクロ波増幅器2とは同一面上に平面的に配置されている方がよい。

【0013】然しながら、それを実現するには、図22に見られるように、光信号である入射光8を光電変換装置1が組み込まれている半導体チップのエッジから入力することができるものでなければならない。

【0014】図23は従来のエッジ入力型半導体光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。図に於いて、11はn型半導体基板、12はn型光ガイド層、13はノンドープ光吸収層、14はp型光ガイド層、15は絶縁体、16はp側電極、17はn側電極をそれぞれ示している。この光電変換装置は、図から明らかなように、BH(buried heterostructure)構造になっていて、光吸収層13を薄くすることで高速特性が良好になるなど優れた性能を発揮するとされている。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】図24は図23に見られる光電変換装置を線X-Xに沿って切断した場合の説明図であり、図23に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A)は要部切断側面を、(B)は屈折率分布をそれぞれ表していて、(B)では、縦軸に厚さ方向を、そして、横軸に屈折率をそれぞれ採っている。図に於いて、18は入射光8に起因する伝播光を示している。

【0016】図から明らかなように、屈折率分布はステップ型になっていて、ガイド層12及び14の屈折率が光吸収層13のそれに近い場合には、ガイド層12及び14に於いても大きな光吸収が起こることになるので、光吸収層13とガイド層12及び14との間の屈折率差を大きくしておかなければならない。

【0017】図示例の光電変換装置では、入力される入射光8のスポット径が、光ガイド層12、光吸収層13、光ガイド層14それぞれの厚さの和と同程度であれば、伝播光18は良好にガイドされ、光吸収層13に於いて効率良く光電変換されるのであるが、通常は入射光8に於けるスポット径の方が大きい。

【0018】ところで、この光電変換装置に於いては、光吸収層13を薄くするほど、伝播光18のスポット径を拡げることができるが、その拡がり、光吸収層13

の厚さを0.04[μm]以下にした場合でも高々2

[μm]程度であって、光ファイバからの出力光を高効率で結合させることは困難であり、入射光8のスポット径が大きくて基板11にかかった場合、その光の殆どは光吸収層13に達することなく透過してしまうので、結合効率を含めた受光量子効率は大変に低いものとなっている。

【0019】図25は図23及び図24に見られる光電変換装置に於ける光ガイド層に改変を加えたものの要部切断側面図であり、図23及び図24に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、19はエッジ面に直交していると共に伝播光18が存在し得る範囲から外れた入射光、20はエッジ面に角度をもった入射光をそれぞれ示している。

【0020】図から明らかなように、この光電変換装置では、光ファイバとの結合効率を高めようとして、光ガイド層12及び14を厚く形成したのであるが、入射光19の大部分は光ガイド層12や14を透過してしまい、僅かに、入射光20は反射に依って光吸収層13を到達することができるのみであり、従って、このようにした場合も矢張り受光量子効率は低くなってしま

【0021】本発明は、光ファイバとの結合効率を向上させる為に厚い光ガイド層を用いた場合であっても、伝播光を光吸収層に効率良く集光させ得るようにして、光ガイド層を素通りする伝播光を低減させて受光量子効率の向上を実現しようとする。

【0022】

【課題を解決するための手段】図1は本発明に依る光電変換装置に於ける構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図である。図に於いて、21はn型半導体基板、22はn型光ガイド層、23はノンドープ光吸収層、24はp型光ガイド層、25は絶縁体、26はp側電極、27はn側電極をそれぞれ示している。

【0023】この光電変換装置は、図から明らかなように、図23について説明した従来のエッジ入力型半導体光電変換装置と同様な構成を採っている、所謂、BH構造をなしているのであるが、相違するところを列挙すると次の通りである。

【0024】(a) 光ガイド層22及び24の材料組成を変化させて、屈折率に分布を持たせてあること。即ち、光吸収層23に近い部分では屈折率を高くすると共に離れるにつれて低くなるようにしてある。但し、常に、光吸収層23の屈折率に比較して低い値であるようにする。

【0025】(b) 光ファイバとの結合が容易であるように、光ガイド層22及び24を厚くすること。

【0026】図2は本発明に依る光電変換装置に於ける動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図であり、図1に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか

或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A)は図1に見られる線X-Xに沿って切断した縦断側面を表し、また、(B)は同じく図1に見られる線Y-Yに沿った屈折率分布を表し、28は伝播光、 $P_1$ 及び $P_2$ は伝播光28が光吸収層23を横切る点をそれぞれ示し、また、(B)では縦軸に諸半導体層などの厚さ方向の距離を、横軸に屈折率を採っており、 $nL_1$ は滑らかな屈折率分布、 $nL_2$ はステップ状の屈折率分布、 $L_3$ は滑らかな屈折率分布 $nL_1$ を生成させる為の組成分布を示している。尚、半導体層に対し、(B)に見られるような屈折率分布をもたせることは普通に行われていて、例えば、多元化合物半導体は組成を変化させると屈折率が変化するから、その組成を組成分布 $L_3$ のように連続的に変化させることで目的とする屈折率分布 $nL_1$ を得れば良い。

【0027】さて、良く知られているように、光は屈折率が高い方へ曲げられる性質があるので、図1及び図2に見られる光電変換装置に於いては、光ガイド層22並びに24を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われるようにした場合、本来であれば、光ガイド層22或いは24を素通りして無効になってしまうような伝播光28も光吸収層23に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で光吸収層23を複数回に亘って横切るので、その都度、吸収が起こって光電変換が行われる。尚、図示されていないが、光吸収層23を中心とし、或る程度の広がりをもって入射する光が主たる伝播光になることは云うまでもない。

【0028】前記したところから、本発明に依る光電変換装置に於いては、(1)一導電型化合物半導体基板(例えばn型基板21)上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層(例えばn型光ガイド層)及びノンドープ化合物半導体光吸収層(例えばノンドープ光吸収層23)及び反対導電型化合物半導体光ガイド層(例えばp型光ガイド層)とを備えてなり、該各光ガイド層の屈折率は光吸収層に近い側が最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とするか、或いは、

【0029】(2)光ガイド層に於ける屈折率分布の形状が光吸収層に向かって開く放物線型をなしていることを特徴とするか、或いは、(3)一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、該各光ガイド層の何れか一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする。

【0030】

【作用】前記手段を採ることに依り、光ガイド層を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われるように

した場合であっても、本来ならば、光ガイド層を素通りして無効になってしまうような伝播光も光吸収層に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で伝播光は光吸収層を複数回に亘って横切るので、その都度、吸収が起こって光電変換が行われるから、その全体から見た光電変換の効率は極めて高いものとなる。

【0031】

【実施例】図1に見られる光電変換装置を具体化したものを本発明に於ける第一実施例として説明する。

【0032】図示されている各部分に関する主なデータを例示すると次の通りである。

(1) n型半導体基板21について

材料: InP

不純物濃度:  $2 \times 10^{18}$  [cm<sup>-3</sup>]

厚さ: 100 [μm]

【0033】(2) n型光ガイド層22について

材料: InPからInGaAsP(波長が1.45 [μm]となる組成)に次第に変化する半導体結晶

不純物濃度:  $1 \times 10^{18}$  [cm<sup>-3</sup>]

厚さ: 3.5 [μm]

(3) ノンドープ光吸収層23について

材料: InGaAs

厚さ: 1 [μm]

【0034】(4) p型光ガイド層24について

材料: InGaAsP(波長が1.45 [μm]となる組成)からInPに次第に変化する半導体結晶

不純物濃度:  $1 \times 10^{18}$  [cm<sup>-3</sup>]

厚さ: 3.5 [μm]

(5) 絶縁体25について

材料: ポリイミド

【0035】(6) p側電極26及びn側電極27について

材料: Au

(7) ストライプ・メサについて

幅: 10 [μm]

長さ: 100 [μm]

尚、光ガイド層22及び24の屈折率を連続的或いはステップ状に変化させることは容易であって、三元或いは四元或いは更に多元の半導体結晶を用い、組成を連続的に変化させることで容易に実現することができ、例えば、InGaAsP系の半導体結晶では、Pの組成を1(屈折率小)~0(屈折率大)に変化させることで屈折率は大きく変化させることができる。

【0036】この第一実施例の光電変換装置が、前記説明した本発明に於ける原理と全く同じ動作をすることは勿論であり、光ガイド層22及び24の厚さは光吸収層23の厚さと無関係に厚くすることができ、光ファイバなどの出力光との結合効率を向上させて光受信装置の感度を高めることができる。

【0037】従来の標準的な光電変換装置に於いては、(光ガイド層の厚さ×2+光吸収層の厚さ)≒約2[μm]であるのに対し、第一実施例では前記したように8[μm]であり、従って、入射光との結合効率は大きく向上する。また、光ガイド層22及び24が前記したように3.5[μm]の厚さになっていても、入射する大部分の光を光吸収層23に到達させることが可能であり、従って、結合効率並びに内部量子効率は著しく高くなっていて、しかも、30[GHz]を越える周波数応答性を備えている。

【0038】ところで、図2に見られるように、光ガイド層22及び24に於ける屈折率分布が放物線状をなしている場合、媒質は理想的な凸レンズとして作用するので、入射光8に起因する伝播光28を最も効率良く光吸収層23へ集中させることができ、優れた凸レンズを付加した構成と同じ効果が得られる。

【0039】即ち、前記した構成をもった第一実施例に於いて、入射光8に起因する伝播光28はエッジから約24[μm]のところ、従って、点P<sub>1</sub>で光吸収層23を横切り、更に進行すると約72[μm]のところ、従って、点P<sub>2</sub>で再び光吸収層23を横切る動作をする。

【0040】この光電変換装置に於ける応答速度は、光吸収層23が薄く、且つ、光ガイド層22及び光吸収層23及び光ガイド層24で形成されるpin接合の容量が小さければ速くなり、このpin接合の容量は、中央に在るストライプ・メサの幅が狭く、且つ、長さが短く、また、光吸収層23が厚ければ小さくなる。

【0041】このように、光吸収層23の厚さには、高速性の面から見ると二律背反的要素が含まれ、光吸収層自体の特性からすると、高速化の為には薄いと良いのであるが、そのようにすると、pin接合容量が大きくなるので余り薄くもできないので、それ等の兼ね合いが重要となる。

【0042】しかも、光吸収層23を薄くすると光の吸収が少なくなるので、その状態で効率を維持、或いは、向上するには、例えばストライプ・メサを長大にすることが必要になるが、そのようにした場合、当然のことながら、pin接合の容量が更に増大し、高速性の低下に結び付くことになる。

【0043】第一実施例に於いて、ストライプ・メサの幅は変えず、効率を重視して長さを200[μm]とし、また、光吸収層23の厚さを1.5[μm]以下にした改変例を試作し、50[Ω]の抵抗を負荷にしたところ、20[GHz]以上の高速応答をさせることができた。

【0044】光吸収層23の厚さが1[μm]の場合、量子効率は、伝播光28が光吸収層23を垂直に一回横切ると80[%]以上になる。前記改変例に於いては、伝播光28は24[μm]毎に光吸収層23を斜めに横切るので、ストライプ・メサの長さが200[μm]で

あるから六回以上も横切ることになる。

【0045】ここで、光が光吸収層23を垂直に横切るよりも斜めに横切る方が光吸収を行う距離は長いから効率は向上すること、また、六回も横切ることから、略100[%]の量子効率を達成している。尚、改変例ではなく、第一実施例、即ち、ストライプ・メサの長さが100[μm]のものでは、然程の効率低下なしに30[GHz]以上の高速応答が可能になる。

【0046】図3は本発明に於ける第二実施例を解説する為の光電変換装置の説明図であって、図1及び図2に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。

【0047】図に於いて、(A)は縦断側面を表し、そして、(B)は(A)に見られる線Y-Yに沿った屈折率分布(実線)及び高屈折率半導体層位置のピッチ分布(破線)を表し、また、31Aは例えばn型InPからなる低屈折率半導体層、32Aは例えばp型InPからなる低屈折率半導体層、31Bは例えば厚さが5[nm]であるn型InGaAsからなる高屈折率半導体層、32Bは例えば厚さが5[nm]であるp型InGaAsからなる高屈折率半導体層、PCはピッチをそれぞれ示し、また、(B)では、縦軸に諸半導体層などの厚さ方向の距離を、横軸に屈折率及びピッチを採っており、nL<sub>1</sub>は滑らかな屈折率分布、pL<sub>1</sub>は滑らかな屈折率分布nL<sub>1</sub>を生成させる為のピッチ分布を示している。尚、ピッチPCは図示されているように低屈折率半導体層31A或いは32Aの厚さに相当し、その厚さが光吸収層23から離れるにつれて大となるように、即ち、屈折率を高くしたい部分では低屈折率半導体層31A或いは32Aの厚さを薄く、また、屈折率を低くしたい部分では低屈折率半導体層31B或いは32Bの厚さを厚くすることで、屈折率に所望の分布をもたせている。

【0048】このようにして屈折率分布を生成させる場合、低屈折率半導体層31Aや32A、そして、高屈折率半導体層31Bや32Bそれぞれの厚さを波長の1/5の範囲内で制御すれば、図3に見られるように、滑らかな屈折率分布が得ることができる。

【0049】前記説明した第一実施例に於いては、半導体結晶の組成を変えることで屈折率に分布をもたせたが、第二実施例に於いては、半導体結晶の組成は固定化し、低屈折率半導体層31A(或いは32A)と高屈折率半導体層31B(或いは32B)とを交互に積層し、且つ、それ等のピッチを変えることで屈折率に分布をもたせている。このピッチを変えるについては、低屈折率半導体層31Aなどの厚さを変化させるだけでなく、高屈折率半導体層32Aなどの厚さを変えるようにしても良く、また、両者の厚さを制御するようにしても良い。

【0050】第二実施例に依る屈折率分布の制御手段は、第一実施例に依るそれと比較すると、屈折率分布の

制御性は良好である。その理由は、組成の変化と屈折率の変化との関係は完全な直線的にならないこと、また、十分に制御された状態で連続的に組成を変化させるのに比較すると、半導体層の成長時に厚さを時間で制御する方が遙に容易であることに依る。

【0051】図4は本発明に於ける第三実施例を解説する為の光電変換装置を表す説明図であり、図1乃至図3に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A)は縦断側面を表し、そして、(B)は(A)に見られる線Y-Yに沿った屈折率分布を表している。

【0052】本実施例が第一実施例と相違する点は、厚さが1[μm]であるp型光ガイド層24が屈折率一定で分布をもたない単なるp型InPで構成されていることである。尚、不純物濃度は第一実施例と同じく $1 \times 10^{18}$ [cm<sup>-3</sup>]である。この実施例に於けるp型光ガイド層24の形成は第一実施例に比較して極めて容易であって、ノンドープのInP層を形成してからZnを拡散してp型化すれば良い。

【0053】さて、ここで、さきに説明した第一実施例を製造する工程について詳細に解説するが、その前に、気相成長装置及びそれに関連する事項の概略を説明する。図5は本発明で用いる気相成長装置の要部説明図を表している。図に於いて、31は反応室、32はガス送

入管、33は排気管、34はガス流量を加減するガス制御弁、35は基台、36は基板をそれぞれ示している。

【0054】この気相成長装置は公知のものであって、反応室1にはガス送入口32及びガス制御弁34を介して、Inソース・ガス、Gaソース・ガス、Asソース・ガス、Pソース・ガス、ドーパント・ガスのそれぞれを別個に送入することができるようになっていて、それらガスの熱分解及び基板36上への結晶成長なる化学反応を利用し、基板36の表面へ例えばInGaAsPなどの結晶をエピタキシャル成長させるようにしている。

【0055】本発明では、InGaAsPの組成を変化させた半導体結晶を多用しているので、そのInGaAsPの成長について詳細に説明する。

【0056】今、InGaAsPに於けるGaの組成をxで、そして、Asの組成をyで表すとすると、InGaAsPをGa, In, As, P<sub>1-y</sub>と表すことができ、InPに格子整合させる為のx及びyは、 $x = 0.466y / (1.03 - 0.03y)$ の関係にある。

【0057】また、バンド・ギャップ・エネルギーE<sub>g</sub>(y)は、

$E_g(y) = 1.35 - 0.72y + 0.12y^2$ のように変化する。

【0058】更にまた、yを小さくすると、Ga, In, As, P<sub>1-y</sub>の屈折率は大きくなる(詳細には、

「永井治男 他著、三一五族半導体混晶、昭和63年

株式会社コロナ社 発行」を参照)。

【0059】従って、x及びyを制御することで、屈折率が連続的に変化する半導体層を形成することができる。勿論、x並びにyは、反応室1に導入されるIn、Ga、As、Pの各ソース・ガスに於ける気相化合物の量の比率で制御される。

【0060】具体的には、In、Ga、As、Pの各ソース・ガスを供給する管にコンピュータ制御の流量制御弁(マス・フロー・コントローラ)を取り付け、屈折率が設計された値となるように制御を行うものである。

【0061】図6乃至図15は第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図、また、図16及び図17はソース・ガスの流量制御について説明する為の線図をそれぞれ表し、以下、これ等の図を参照しつつ詳細に説明する。

尚、図1乃至図4に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。また、図16及び図17では、縦軸にはガス流量を、そして、横軸には時間をそれぞれ採ってある。

【0062】図6及び図16参照  
6-(1)

直径が50[mm]、厚さ300[μm]であって、n型ドーパントとしてSnをドーピングして $2 \times 10^{18}$ [cm<sup>-3</sup>]とし、表面を鏡面研磨したInP基板21を用意する。

【0063】6-(2)

基板21の表面を強酸で清浄化処理してから気相成長装置の反応室31にセットする。尚、この後、図6に見られる各半導体層を気相成長させるのであるが、適用技術としては有機金属化学気相堆積(metalorganic chemical vapour deposition: MOCVD)法を採用する。

【0064】6-(3)

In、Ga、As、Pの各気相化合物の量の比率、従って、x及びyを制御し、当初は、基板21との界面がInPとなるように、また、厚さが約3.5[μm]となった状態に於いては、バンド・ギャップ・エネルギーE<sub>g</sub>が波長換算(λE<sub>g</sub>)で1.45[μm]となるようにx及びyを連続的に制御してn型光ガイド層22の成長を行う。また、光ガイド層22の構成材料に関する各ソース・ガスの他にn型とする為のドーパント・ガスとしてH<sub>2</sub>Sガスを添加する。尚、光ガイド層22をn型にする為のドーパントにはシリコン(Si)を用いても良く、その際のドーパント・ガスはSiH<sub>4</sub>が一般的である。

【0065】図16にはn型光ガイド層22を成長させる際の各ソース・ガスの流量変化が明瞭に示されていて、(a)はInソース・ガス並びにPソース・ガスの流量変化を、また、(b)はGaソース・ガス並びにAsソース・ガスの流量変化をそれぞれ示している。

## 【0066】6-(4)

y=1の組成となるようにIn、Ga、As、Pに関する気相化合物の量の比率、即ち、トリメチルインジウム(TMI: In(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)、トリエチルガリウム(TEG: Ga(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>)、アルシン(AsH<sub>3</sub>)、ホスフィン(PH<sub>3</sub>)の流量を制御し、厚さが1[μm]のInGaAsからなるノンドープ光吸収層23を成長させる。

## 【0067】6-(5)

In、Ga、As、Pの各気相化合物の量の比率を制御し、光吸収層23との界面に於いては、バンド・ギャップ・エネルギーE<sub>g</sub>が波長換算(λE<sub>g</sub>)で1.45[μm]であるInGaAsPとなるように、また、厚さが約3.5[μm]となった状態に於いては、y=0、即ち、InPとなるようにx及びyを連続的に制御してノンドープの光ガイド層24の成長を行う。

【0068】図17には光ガイド層24を成長させる際の各ソース・ガスの流量変化が明瞭に示されていて、

(a)はInソース・ガス並びにPソース・ガスの流量変化を、また、(b)はGaソース・ガス並びにAsソース・ガスの流量変化をそれぞれ示している。尚、ここで、E<sub>g</sub>とλE<sub>g</sub>との関係は、

E<sub>g</sub>(単位[eV])=1.24/λE<sub>g</sub>(単位[μm])

で近似される。このようにして、図2の(B)に見られるような組成分布L<sub>i</sub>及び屈折率分布nL<sub>i</sub>をもつ半導体結晶層を成長させることができた。

## 6-(6)

ガラス閉管中にウエハ及びZn化合物を封入し、温度を600[℃]、時間を約8[時間]としてZnの熱拡散を行って光ガイド層24をp型化する。

## 【0069】図7参照

## 7-(1)

熱CVD(chemical vapor deposition)法を適用することに依り、厚さ例えば200[ns]のSiO<sub>2</sub>膜37を形成する。

## 7-(2)

リソグラフィ技術に於けるレジスト・プロセスを適用することによってレジスト膜38を形成する。

## 【0070】図8参照

## 8-(1)

露光及び現像を行って、幅が例えば10[μm]であるストライプのレジスト膜38を残す。

## 【0071】図9参照

## 9-(1)

エッチャントをフッ化水素酸とするウェット・エッチング法を適用することに依り、レジスト膜38をマスクとしてSiO<sub>2</sub>膜37の選択的エッチングを行って幅10[μm]のストライプとする。

## 9-(2)

レジスト膜38を溶解・除去する。

## 【0072】図10参照

## 10-(1)

エッチャントを塩酸系エッチング液とするウェット・エッチング法を適用することに依って、ストライプのSiO<sub>2</sub>膜37をマスクとしてp型光ガイド層24の表面から基板21内に達するメサ・エッチングを行う。

## 【0073】図11参照

## 11-(1)

エッチング・マスクとして用いたSiO<sub>2</sub>膜37を除去する。

## 11-(2)

スピン・コート法を適用することに依り、メサ部分が充分に埋まるように感光性ポリイミドを塗布し、加熱硬化させる。

## 【0074】図12参照

## 12-(1)

メサ部分の頂面のみを覆うフォトリソ・マスク39を介して紫外線照射に依る露光を行う。

20 【0075】図13参照

## 13-(1)

現像を行うとメサ部分頂面に在った感光性ポリイミドは重合していないから除去されてしまう。これに依り、図1について説明したメサ部分を埋め込んだポリイミドからなる絶縁体25が得られる。

## 【0076】図14参照

## 14-(1)

治具40に貼付したウエハに於ける裏面を定盤41上に撒布したアルミナの砥粒42と対向させて研磨する。

30 【0077】図15参照

## 15-(1)

スパッタリング法など従来の技術を適用することに依り、Au/Zn/Auからなるp側電極26及びAuGe/Auからなるn側電極27を形成する。

## 15-(2)

この後、劈開など従来の技術を適用することに依り、幅200[μm]、長さ100[μm]のチップにする。尚、図に見られる破線は劈開線を示している。

## 【0078】

40 【発明の効果】本発明に依る半導体光電変換装置に於いては、一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、該各光ガイド層のうち、少なくとも一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつようにしてある。

【0079】前記構成を採ることに依り、光ガイド層を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われるようにした場合であっても、本来ならば、光ガイド層を素



通りして無効になってしまうような伝播光も光吸収層に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で伝播光は光吸収層を複数回に亘って横切るので、その都度、吸収が起こって光電変換が行われ、従って、その全体から見た光電変換の効率は極めて高いものとなる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に依る光電変換装置に於ける構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図である。

【図 2】本発明に依る光電変換装置に於ける動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図である。

【図 3】本発明に於ける第二実施例を解説する為の光電変換装置の説明図である。

【図 4】本発明に於ける第三実施例を解説する為の光電変換装置を表す説明図である。

【図 5】本発明で用いる気相成長装置の要部説明図である。

【図 6】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 7】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 8】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 9】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 10】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 11】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 12】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 13】第一実施例を製造する工程について解説する \*

\* 為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 14】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 15】第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

【図 16】ソース・ガスの流量制御について説明する為の線図である。

【図 17】ソース・ガスの流量制御について説明する為の線図である。

【図 18】コヒーレント光通信を行う場合に用いるパランス型光受信装置を表す要部説明図である。

【図 19】表面入射型或いは裏面入射型の光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。

【図 20】光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 とを直線状に配置した状態を説明する為の要部斜面図である。

【図 21】光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 との接続を説明する為の要部側面図である。

【図 22】光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 とを接続する上で望ましい配置を説明する為の要部斜面図である。

【図 23】従来のエッジ入力型半導体光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。

【図 24】図 23 に見られる光電変換装置を線 Y-Y に沿って切断した場合の説明図である。

【図 25】図 23 及び図 24 に見られる光電変換装置に於ける光ガイド層に改変を加えたものの要部切断側面図である。

#### 【符号の説明】

21 n 型半導体基板

22 n 型光ガイド層

23 ノシドープ光吸収層

24 p 型光ガイド層

25 絶縁体

26 p 側電極

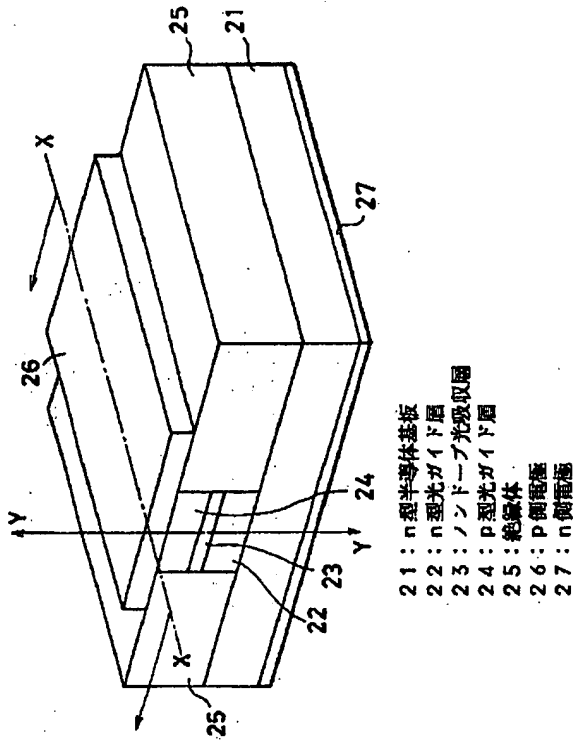
27 n 側電極

【図1】

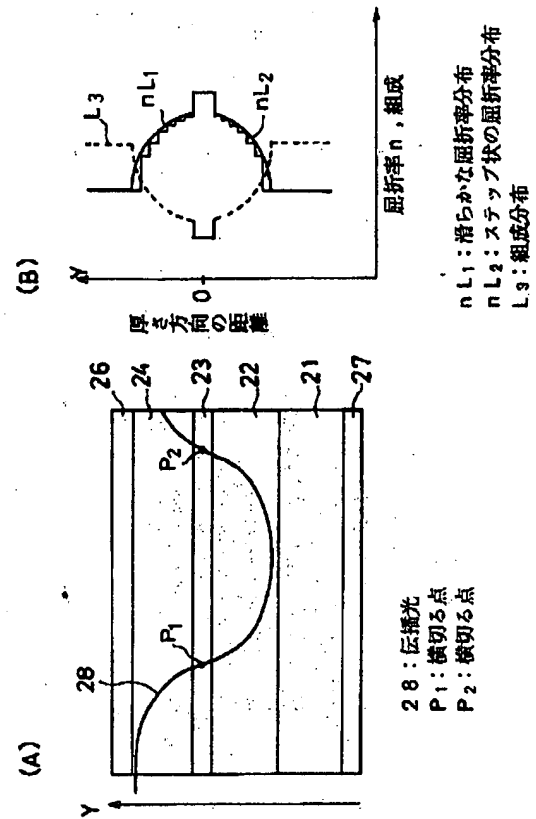
【図2】

動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図

構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜断面図

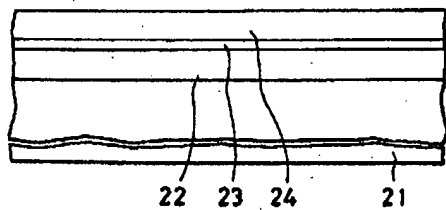


【図6】



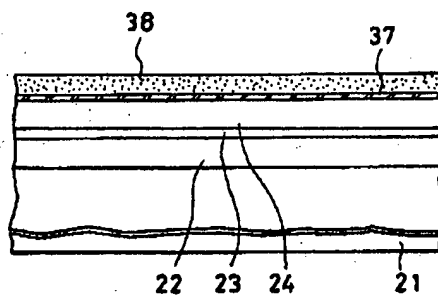
【図7】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

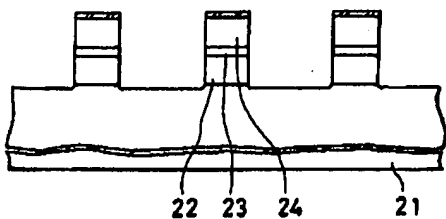


【図10】

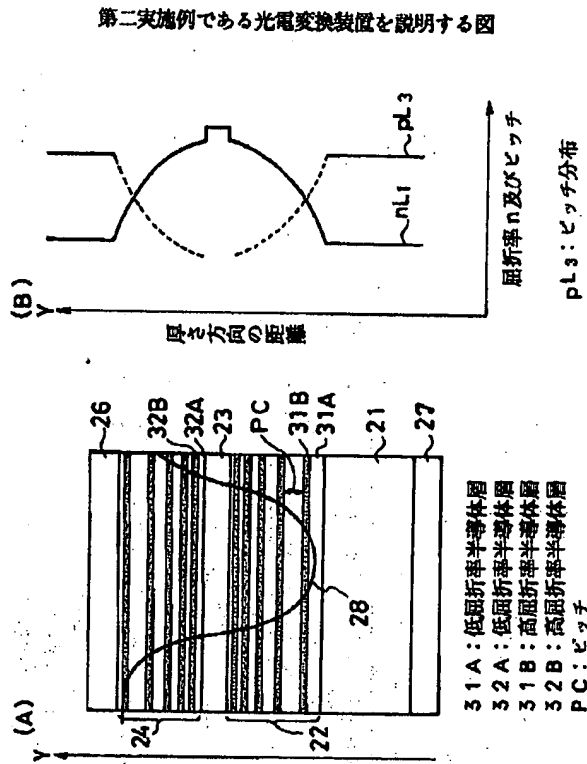
工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

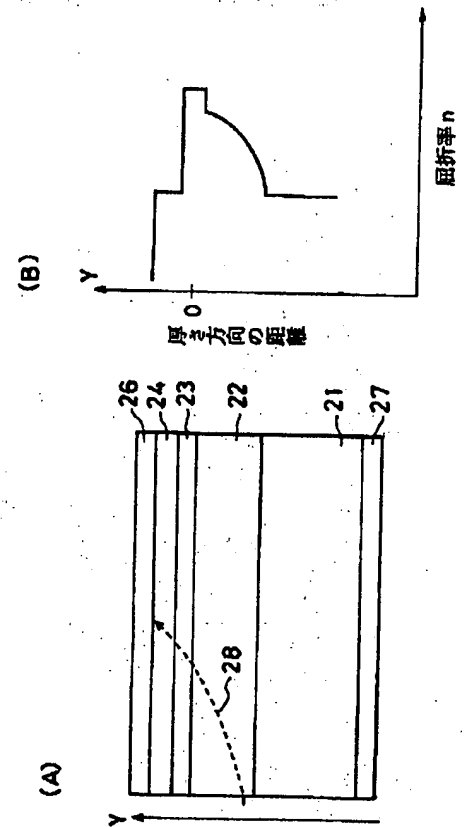


【図3】



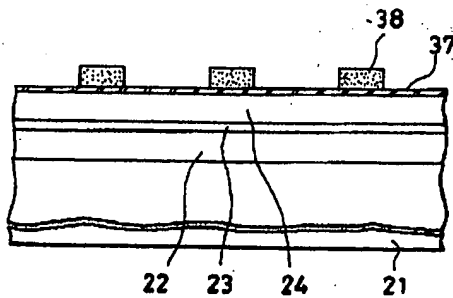
【図4】

第三実施例である光電変換装置を説明する図



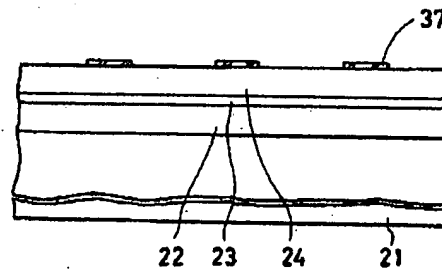
【図8】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



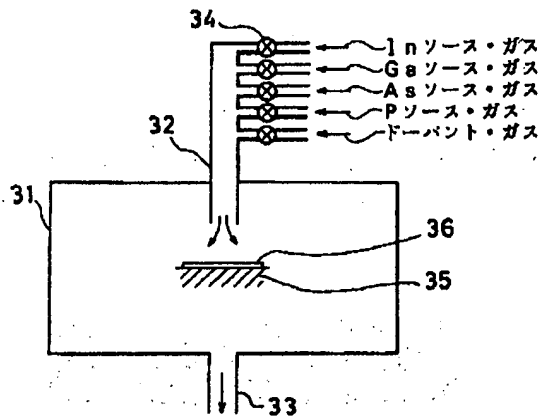
【図9】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



【図5】

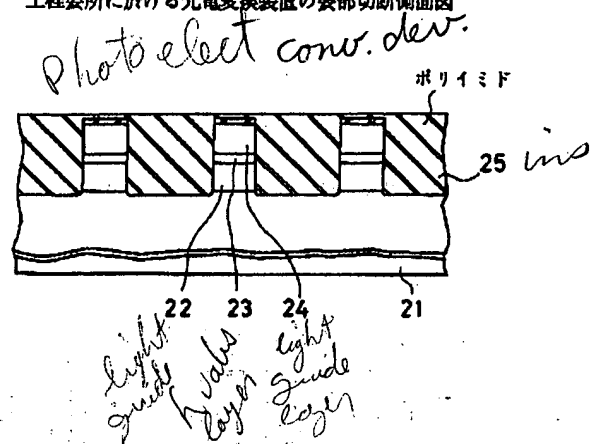
気相成長装置の要部説明図



- 31: 反応室
- 32: ガス送入管
- 33: 排気管
- 34: ガス制御弁
- 35: 基台
- 36: 基板

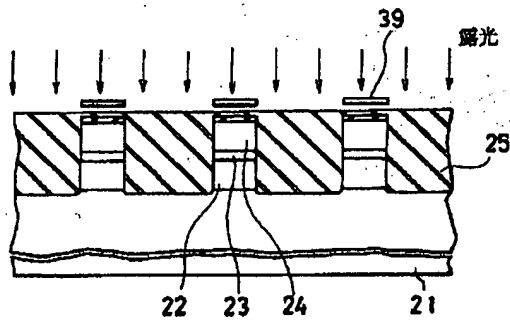
【図11】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



【図12】

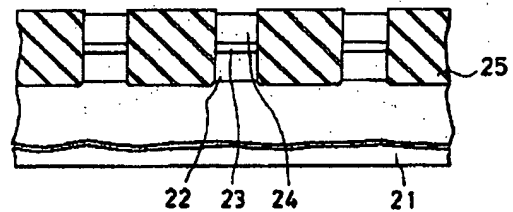
工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



- 39: マスク

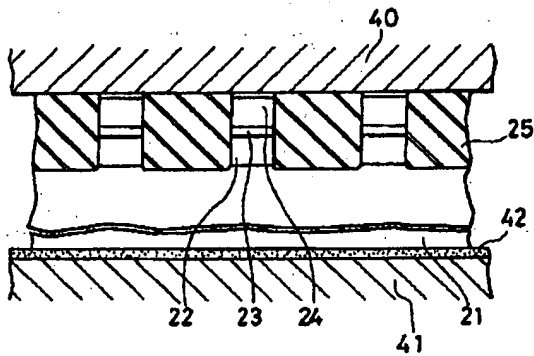
【図13】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



【図14】

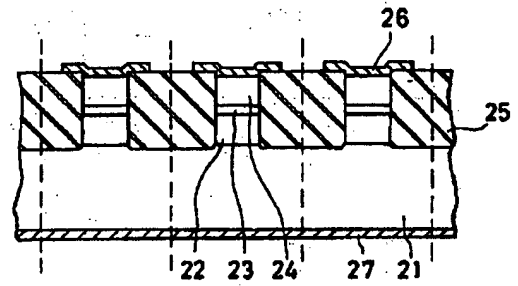
工程要所に於ける光電変換装置の要部切断断面図



40: 治具  
41: 定盤  
42: 砥粒

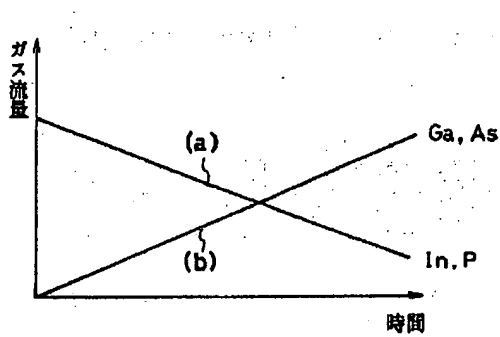
【図15】

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断断面図



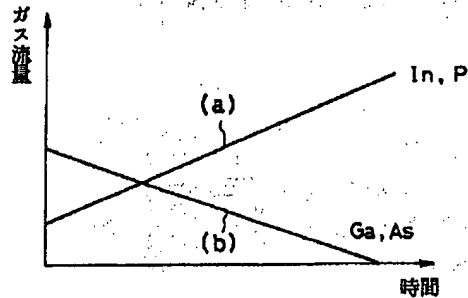
【図16】

ソース・ガスの流量制御を説明する線図



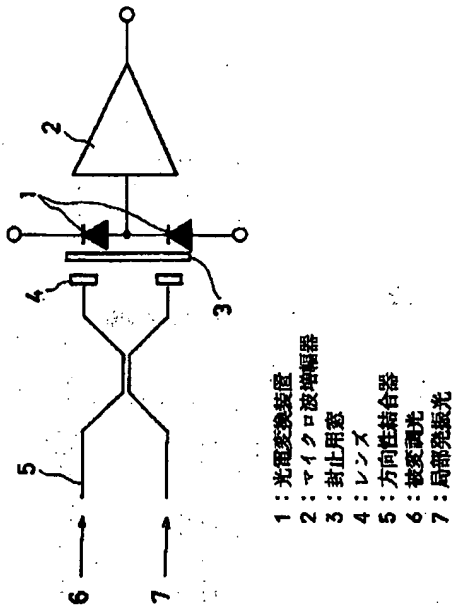
【図17】

ソース・ガスの流量制御を説明する線図



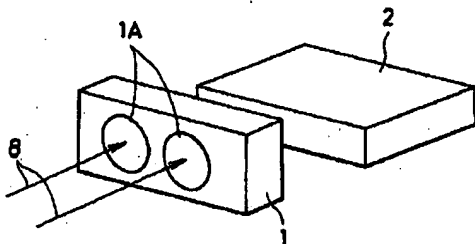
【図 18】

バランス型光受信装置の要部説明図



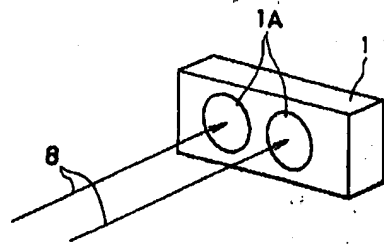
【図 20】

光電変換装置とマイクロ波増幅器の配置を説明する為の要部斜面図



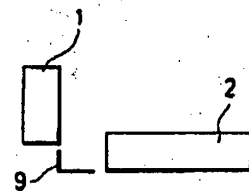
【図 19】

光電変換装置を説明する為の要部斜面図



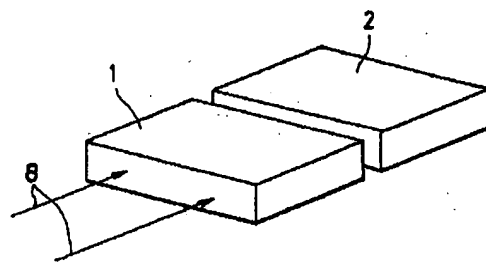
【図 21】

光電変換装置とマイクロ波増幅器の接続を説明する為の要部側面図



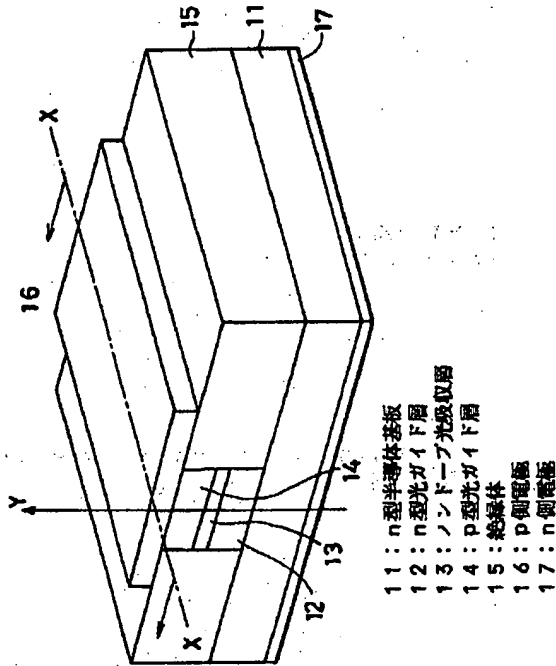
【図 22】

光電変換装置とマイクロ波増幅器の好ましい配置を説明する為の要部斜面図



【図23】

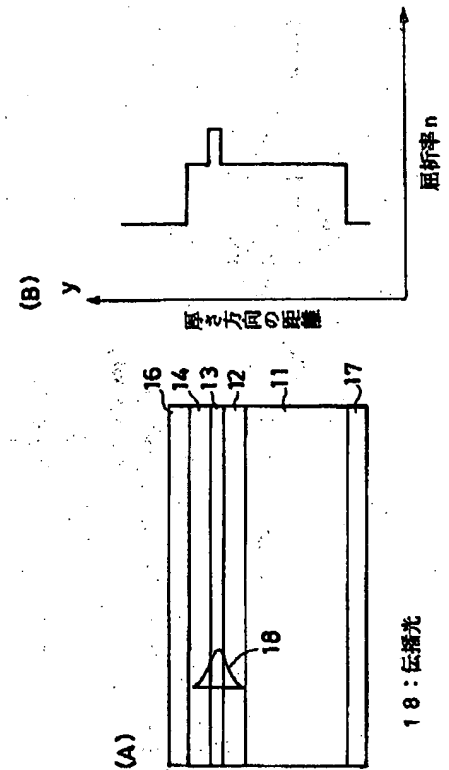
エッジ入力型である光電変換装置の要部斜断面図



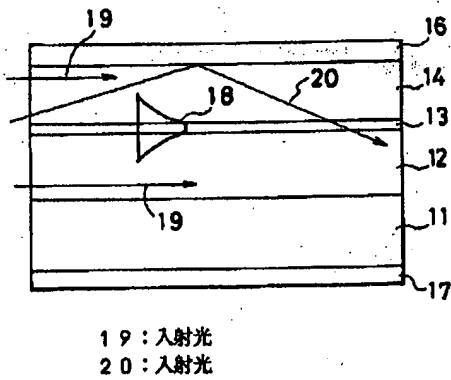
【図25】

【図24】

光電変換装置の説明図



光電変換装置の要部切断断面図



## **DERWENT TERMS AND CONDITIONS**

*Derwent shall not in any circumstances be liable or responsible for the completeness or accuracy of any Derwent translation and will not be liable for any direct, indirect, consequential or economic loss or loss of profit resulting directly or indirectly from the use of any translation by any customer.*

Derwent Information Ltd. is part of The Thomson Corporation

Please visit our home page:

["WWW.DERWENT.CO.UK"](http://WWW.DERWENT.CO.UK) (English)  
["WWW.DERWENT.CO.JP"](http://WWW.DERWENT.CO.JP) (Japanese)



**MACHINE-ASSISTED TRANSLATION (MAT):**

<b>(19)【発行国】</b> 日本国特許庁 (JP)	<b>(19)[ISSUING COUNTRY]</b> Japanese Patent Office (JP)
<b>(12)【公報種別】</b> 公開特許公報 (A)	Laid-open (kokai) patent application number (A)
<b>(11)【公開番号】</b> 特開平 5 - 1 8 3 1 8 5	<b>(11)[UNEXAMINED PATENT NUMBER]</b> Unexamined-Japanese-patent-No. 5-183185
<b>(43)【公開日】</b> 平成 5 年 ( 1 9 9 3 ) 7 月 2 3 日	<b>(43)[DATE OF FIRST PUBLICATION]</b> Heisei 5 (1993) July 23rd
<b>(54)【発明の名称】</b> 半導体光電変換装置	<b>(54)[TITLE]</b> Semiconductor photoelectric-conversion device
<b>(51)【国際特許分類第 5 版】</b> H01L 31/10 G02B 6/12 7036-2K H01L 31/0232	<b>(51)[IPC]</b> H01L 31/10 G02B 6/12      B 7036-2K H01L 31/0232
<b>【FI】</b> H01L 31/10      A 8422-4M 31/02      C 7210-4M	<b>[FI]</b> H01L 31/10      A 8422-4M 31/02      C 7210-4M
<b>【審査請求】</b> 未請求	<b>[EXAMINATION REQUEST]</b> UNREQUESTED
<b>【請求項の数】</b> 3	<b>[NUMBER OF CLAIMS]</b> 3
<b>【全頁数】</b> 1 4	<b>[NUMBER OF PAGES]</b> 14
<b>(21)【出願番号】</b> 特願平 3 - 3 4 6 6 0 5	<b>(21)[APPLICATION NUMBER]</b> Japanese Patent Application No. 3-346605
<b>(22)【出願日】</b> 平成 3 年 ( 1 9 9 1 ) 1 2 月 2	<b>(22)[DATE OF FILING]</b> December 27th, Heisei 3 (1991)

7 日

(71) 【出願人】

(71)[PATENTEE/ASSIGNEE]

【識別番号】

0 0 0 0 0 5 2 2 3

[ID CODE]

000005223

【氏名又は名称】

富士通株式会社

Fujitsu Ltd.

【住所又は居所】

神奈川県川崎市中原区上小田中  
1 0 1 5 番地

[ADDRESS]

(72) 【発明者】

(72)[INVENTOR]

【氏名】 田淵 晴彦

Haruhiko Tabuchi

【住所又は居所】

神奈川県川崎市中原区上小田中  
1 0 1 5 番地 富士通株式会社  
内

[ADDRESS]

(74) 【代理人】

(74)[PATENT AGENT]

【弁理士】

[PATENT ATTORNEY]

【氏名又は名称】

柏谷 昭司 (外 1 名)

Shouji Kashiya (et al.)

(57) 【要約】

(57)[SUMMARY]

【目的】

半導体光電変換装置に関し、光ファイバとの結合効率を向上させる為に厚い光ガイド層を用いた場合であっても、伝播光を光吸収層に効率良く集光させ得るようにして、光ガイド層を素通

[OBJECT]

It is related with a semiconductor photoelectric-conversion device.

Specifically, in order to improve the coupling efficiency with an optical fibre, even if it is the case where a thick light-guide layer is used, as an optical absorption layer condenses a propagation light efficiently, it may make. The

りする伝播光を低減させて受光量子効率の向上を実現しようとする。

propagation light which passes by a light-guide layer is made to reduce, and it is going to implement the improvement in a light-receiving quantum efficiency.

#### 【構成】

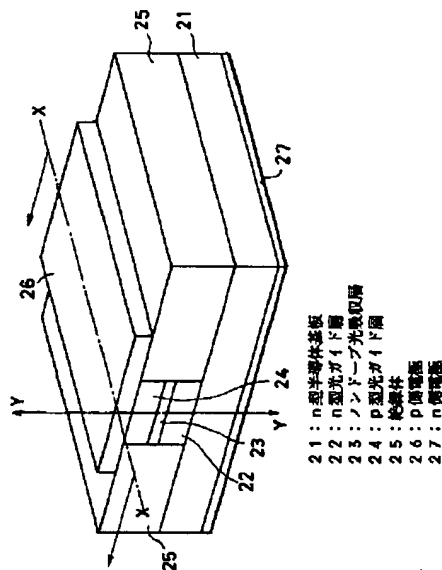
n型半導体基板 21 上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される n 型光ガイド層 22 及びノンドープ光吸収層 23 及び p 型光ガイド層 24 を備えてなり、該各光ガイド層 22 及び 24 の屈折率は光吸収層 23 に近い側が最も高く且つそこから離隔するにつれて低くなるように分布をもつようにしてある。

#### 【SUMMARY OF THE INVENTION】

It is to provide the n-type light-guide layer 22 by which forms lamination sequentially on, n-type semiconductor substrate 21, and a light is irradiated from a direction parallel to the joining, the non dope light absorption layer 23, and the p-type light-guide layer 24.

The refractive index of said each light-guide layers 22 and 24 has the distribution so that it may become low as it is isolated from that and the side near the optical absorption layer 23 may become the highest.

構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜視図



It is the principal-part perspective view of the photoelectric-conversion device for explaining the component principle.

21: N-type semiconductor substrate

22: N-type light-guide layer

- 23: Non dope light absorption layer
- 24: P-type light-guide layer
- 25: Insulator
- 26: P side electrode
- 27: N side electrode

**【特許請求の範囲】****[CLAIMS]****【請求項 1】**

一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層を備えてなり、該各光ガイド層の屈折率は光吸収層に近い側が最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする半導体光電変換装置。

**【請求項 2】**

光ガイド層に於ける屈折率分布の形状が光吸収層に向かって開く放物線型をなしていることを特徴とする請求項 1 記載の半導体光電変換装置。

**【請求項 3】**

一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、

**[CLAIM 1]**

It is to provide the one conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer by which forms lamination sequentially on one conductivity-type compound-semiconductor substrate, and a light is irradiated from a direction parallel to the joining, a non dope compound-semiconductor light absorption layer, and an opposite conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer.

The refractive index of a said each light-guide layer has a distribution so that it may become low as it is isolated and the side near an optical absorption layer may become the highest.

The semiconductor photoelectric-conversion device characterized by the above-mentioned.

**[CLAIM 2]**

The shape of the refractive-index distribution in a light-guide layer, the parabolic type opened toward an optical absorption layer is formed.

The semiconductor photoelectric-conversion device of Claim 1 characterized by the above-mentioned.

**[CLAIM 3]**

It is to provide the one conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer by which forms lamination sequentially on one conductivity-type compound-semiconductor substrate, and a light is irradiated from a direction parallel to the joining, a non dope compound-semiconductor light absorption layer, and an opposite conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer.

該各光ガイド層の何れか一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする半導体光電変換装置。

**【発明の詳細な説明】****【 0 0 0 1 】****【産業上の利用分野】**

本発明は、結合効率並びに内部量子効率が高く、且つ、高い周波数応答性が得られるように、特に、光導波路を改善した半導体光電変換装置に関する。

**【 0 0 0 2 】**

現在、光通信の分野に於いては、大量の情報を高速でやりとりすることを可能にする為、コヒーレント光を利用する傾向が強まっている。然しながら、それを普遍化するには、ハードの面で改善しなければならない問題を多く抱えていて、半導体光電変換装置もその一つである。

**【 0 0 0 3 】****【従来の技術】**

図 18 はコヒーレント光通信を行う場合に用いるバランス型光受信装置を表す要部説明図である。図に於いて、1 は光電変換装置、2 はマイクロ波増幅器、3 は気密封止を行う為の封止用窓、4 は光を平行化或いは集光

The refractive index in any one of a said each light-guide layer has a distribution so that it may become low as it isolates and it may become the highest at the side near an optical absorption layer.

The semiconductor photoelectric-conversion device characterized by the above-mentioned.

**[DETAILED DESCRIPTION OF INVENTION]****[0001]****[INDUSTRIAL APPLICATION]**

This invention, the coupling efficiency and an internal quantum efficiency are high. And, high frequency responsiveness is obtained. It is related with the semiconductor photoelectric-conversion device which has improved the optical waveguide especially.

**[0002]**

Currently, in the field of an optical communication, In order to potentiate exchanging a lot of information at high speed, the tendency to utilize a coherent light has become strong.

However, in order to generalize that, it has many problems which must be improved in the viewpoint of hard(ware), and a semiconductor photoelectric-conversion device is also that one.

**[0003]****[PRIOR ART]**

Fig. 18 is a principal-part explanatory drawing showing the balanced type light receiver used when performing the coherent optical communication.

In a diagram 1 is a photoelectric-conversion device. 2 is a microwave amplifier. 3 is a window for a sealing for performing an airtight sealing. 4 is a light parallel-isation or a

するレンズ、5は被変調光と局部発振光との混合並びに分割を行う光ファイバ・カプラなどの方向性結合器、6は被変調光、7は局部発振光をそれぞれ示している。図から明らかなように、この光受信装置では、二つの受光面が集積化された光電変換装置1、マイクロ波増幅器2、方向性結合器5などが主たる構成要素となっている。

**【0004】**

斯かる光受信装置に必要とされることを例示すると、

(1) 光電変換装置1として、高速で応答できるものであることが必要とされている。コヒーレント光通信に於いては、光の周波数間でビートをとることが行われているので、20 [GHz] ~ 30 [GHz] を越えるような周波数でも充分に利用可能であることが望まれている。因に、周波数は高い程、伝送可能な情報量を大きくすることができる。

**【0005】**

(2) 光電変換装置1として、高い量子効率をもつものであることが必要とされている。コヒーレント方式に於ける特徴の一つは、受信感度を向上できることが挙げられる。半導体の光吸収に依るキャリア発生現象を利用する光電変換装置を高速化する為には、光吸収層に於けるキャリア走行時間を短くすることが有効であり、従って、それを薄く形成しなければならないの

condensing lens. 5 is directional couplers, such as the optical-fibre \* coupler which performs a mixture and a divide with a modulated radiation control and a local oscillation light. 6 is a modulated radiation control. 7 is a local oscillation light. The above is respectively shown.

Clearly from a diagram, at this optical receiver, two light-receiving surfaces are the performed integrated photoelectric-conversion device 1, the microwave amplifier 2, and a directional coupler 5 etc. are the main components.

**[0004]**

If it illustrates being needed for such an optical receiver

(1) It is needed that it is that which can be responded at high speed as a photoelectric-conversion device 1.

Taking a beat between the frequencies of a light is performed in the coherent optical communication.

Therefore able to utilize sufficiently also on the frequency which exceeds 20 [GHz] - 30[GHz] is desired.

Incidentally, a frequency can enlarge information content which can be transmitted to the extent that it is high.

**[0005]**

(2) It is needed that it is that which has a high quantum efficiency as a photoelectric-conversion device 1.

It is mentioned that one in a coherent system of the characteristics can improve a receiving sensitivity.

In order to accelerate the photoelectric-conversion device using the phenomenon of the carrier generation due to optical absorption of a semiconductor, it is effective to shorten the carrier transit time in an optical absorption layer.

Therefore, that must be formed thinly.

However, if it is made like that, a quantum efficiency will reduce.

であるが、そのようにすると量子効率が低下する。そこで、薄い光吸収層でありながら、高い量子効率を得られるようにしなければならない。

**【0006】**

(3) 電子回路との電気的接続が容易であるようにすることが望まれ、特に、後段に接続される電子回路、例えば、図18に見られるマイクロ波増幅器2のようなものは、光電変換装置1と平面的に配設できるようにすることが好ましい。などが挙げられる。

**【0007】**

図19は表面入射型或いは裏面入射型の光電変換装置を説明する為の要部斜面図であり、図18に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、1Aは光電変換装置1に於ける受光面、8は受光面1Aに入射する光をそれぞれ示している。図から明らかなように、このような光電変換装置1を用いる場合、受光面1Aが入射光8に直面するような配置状態、即ち、光電変換装置1と入射光8とが直交するような構成となる。

**【0008】**

ところで、光受信装置は、各部品を例えばプリント板に実装して組み立てるのであるが、高密度実装を可能にする為、全体を薄型に纏めることが望ましい。従って、光ファイバ、方向性結

Consequently, though it is a thin optical absorption layer, it must be made to obtain high quantum efficiency.

**[0006]**

(3) The electric connection with an electronic circuit is wished simple. Especially, the electronic circuit connected to a poststage, For example, as for the thing such as the microwave amplifier 2 observed in Fig. 18, it is preferable to enable it to arrange superficially with the photoelectric-conversion device 1.

Above etc. are mentioned.

**[0007]**

Fig. 19 is a principal-part perspective view for explaining the photoelectric-conversion device of a surface irradiation type or a back-side irradiation type.

The symbol and said symbol which were used in Fig. 18 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

In a diagram, 1A is a light-receiving surface in the photoelectric-conversion device 1. 8 is a light irradiated to light-receiving-surface 1A. The above is respectively shown.

When using such a photoelectric-conversion device 1 clearly from a diagram, it becomes the component which the placement condition that light-receiving-surface 1A is confronted with an incident light 8 1, i.e., photoelectric-conversion device, and the incident light 8 cross orthogonally.

**[0008]**

By the way, an optical receiver mounts the each part goods, for example, in a printed board, and assembles it.

However, in order to potentiate high density mounting, it is desirable to collect everything into a thin shape.

Therefore, placing optical-fibre, directional-

合器 5、光電変換装置 1、マイクロ波増幅器 2 などをプリント基板などに直線状に配置して実装することが行われる。

**【0009】**

図 20 は光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 とを直線状に配置した状態を説明する為の要部斜面図であり、図 18 及び図 19 に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図示された配置状態では、光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 とを平面的に接続することは不可能である。

**【0010】**

図 21 は光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 との接続を説明する為の要部側面図であり、図 18 乃至図 20 に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、9 は電気配線を示している。

**【0011】**

図示の光電変換装置 1 は、表面入射型或いは裏面入射型であり、例えば、裏面入射型であれば、光電変換で得られた電気信号は表面側から取り出されるようになっているので、図から明らかのように、この場合、電気配線 9 は 90° に折り曲げなければ光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 との間を接続することができない。斯かる構成にすることは不可能ではないにしても、製造は面倒であり、また、

coupler 5, photoelectric-conversion device 1, and microwave amplifier 2 etc. to a printed board etc. linear, and mounting it in it is performed.

**[0009]**

Fig. 20 is a principal-part perspective view for explaining the condition of having placed the photoelectric-conversion device 1 and the microwave amplifier 2 linear.

The symbol and said symbol which were used in Fig. 18 and 19 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

In the state of an illustrated placement, the photoelectric-conversion device 1 and the microwave amplifier 2 cannot be connected superficially.

**[0010]**

Fig. 21 is a principal-part side view for explaining the connection between the photoelectric-conversion device 1 and the microwave amplifier 2.

The symbol and said symbol which were used in Fig. 18 or 20 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

In the diagram, 9 shows the electrical wiring.

**[0011]**

The photoelectric-conversion device 1 of illustration is a surface irradiation type or a back-side irradiation type.

For example, if it is a back-side irradiation type, the electrical signal obtained by the photoelectric conversion will be extracted from the surface side.

Therefore from a diagram, clearly, if an electrical wiring 9 is not bent to 90 degrees in this case, between the photoelectric-conversion device 1 and the microwave amplifiers 2 is not connectable.

Manufacture is troublesome although making such a component is not impossible.

Moreover, when bending and arranging an



電気配線 9 を折り曲げて配設した場合、高周波特性が悪化するので、実際には、図 20 に見られるような配置は採用することができない。

**【0012】**

図 22 は光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 とを接続する上で望ましい配置を説明する為の要部斜面図であり、図 18 乃至図 21 に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。電気配線を施すことからすれば、図示されているように、光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 とは同一面上に平面的に配置されている方が良い。

**【0013】**

然しながら、それを実現するには、図 22 に見られるように、光信号である入射光 8 を光電変換装置 1 が組み込まれている半導体チップのエッジから入力することができるものでなければならない。

**【0014】**

図 23 は従来のエッジ入力型半導体光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。図に於いて、11 は n 型半導体基板、12 は n 型光ガイド層、13 はノンドープ光吸収層、14 は p 型光ガイド層、15 は絶縁体、16 は p 側電極、17 は n 側電極をそれぞれ示している。この光電変換装置は、図から明らかなように、BH (buried heterostructure)

electrical wiring 9, a high-frequency property worsens.

Therefore a placement which is observed in Fig. 20 is not employable in fact.

**[0012]**

Fig. 22 is a principal-part perspective view for explaining a desirable placement, when connecting the photoelectric-conversion device 1 and the microwave amplifier 2.

The symbol and said symbol which were used in Fig. 18 or 21 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

From giving an electrical wiring, as is illustrated, the photoelectric-conversion device 1, and the microwave amplifier 2, are more sufficient to place superficially flush.

**[0013]**

However, in order to implement that, it must be that which can input the incident light 8 which is a light signal, from the edge of the semiconductor chip into which the photoelectric-conversion device 1 is built so that it may observe in Fig. 22.

**[0014]**

Fig. 23 is a principal-part perspective view for explaining the conventional edge input-type semiconductor photoelectric-conversion device.

In a diagram 11 is an n-type semiconductor substrate. 12 is an n-type light-guide layer. 13 is a non dope light absorption layer. 14 is a p-type light-guide layer. 15 is an insulator. 16 is a p side electrode. 17 is an n side electrode. The above is respectively shown.

This photoelectric-conversion device forms BH (buried heterostructure) structure from the diagram clearly.

A high-speed property becomes satisfactorily by making the optical absorption layer 13 thin.

e) 構造になっていて、光吸収層 13 を薄くすることで高速特性が良好になるなど優れた性能を発揮するとされている。

Let that performance outstanding in the above etc. is exhibited.

**【0015】****[0015]**

**【発明が解決しようとする課題】**

図 24 は図 23 に見られる光電変換装置を線 X-X に沿って切断した場合の説明図であり、図 23 に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A) は要部切断側面を、(B) は屈折率分布をそれぞれ表して、(B) では、縦軸に厚さ方向を、そして、横軸に屈折率をそれぞれ採っている。図に於いて、18 は入射光 8 に起因する伝播光を示している。

**[PROBLEM ADDRESSED]**

Fig. 24 is an explanatory drawing at the time of cutting along X-X line the photoelectric-conversion device observed in Fig. 23.

The symbol and said symbol which were used in Fig. 23 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

In the diagram, (A) shows principal-part cutting side and (B) respectively shows the refractive-index distribution.

In (B), the thickness direction is taken on a vertical axis, and the refractive index is taken on the horizontal axis.

In the diagram, 18 shows the propagation light resulting from an incident light 8.

**【0016】**

図から明らかなように、屈折率分布はステップ型になっていて、ガイド層 12 及び 14 の屈折率が光吸収層 13 のそれに近い場合には、ガイド層 12 及び 14 に於いても大きな光吸収が起ることになるので、光吸収層 13 とガイド層 12 及び 14 との間の屈折率差を大きくしておかなければならない。

**[0016]**

The refractive-index distribution is the step type from the diagram clearly.

When the refractive index of the guide layers 12 and 14 is close to that of the optical absorption layer 13, optical large absorption will produce also in the guide layers 12 and 14.

Therefore the refractive-index difference between the optical absorption layer 13 and the guide layers 12 and 14 must be enlarged.

**【0017】**

図示例の光電変換装置では、入力される入射光 8 のスポット径が、光ガイド層 12、光吸収層 13、光ガイド層 14 それぞれの厚さの和と同程度であれば、

**[0017]**

With the photoelectric-conversion device of the example of illustration, If the diameter of a spot of the incident light 8 input is of the same grade as the sum of the thickness of each light-guide layer 12, absorption optical layer 13, and light-guide layer 14, the propagation light 18 will be

伝播光 18 は良好にガイドされ、光吸収層 13 に於いて効率良く光電変換されるのであるが、通常は入射光 8 に於けるスポット径の方が大きい。

**【0018】**

ところで、この光電変換装置に於いては、光吸収層 13 を薄くするほど、伝播光 18 のスポット径を拡げることができるが、その拡がり、光吸収層 13 の厚さを  $0.04\text{ }\mu\text{m}$  以下にした場合でも高々  $2\text{ }\mu\text{m}$  程度であって、光ファイバからの出力光を高効率で結合させることは困難であり、入射光 8 のスポット径が大きくて基板 11 にかかった場合、その光の殆どは光吸収層 13 に達することなく透過してしまうので、結合効率を含めた受光量子効率は大変に低いものとなっている。

**【0019】**

図 25 は図 23 及び図 24 に見られる光電変換装置に於ける光ガイド層に改変を加えたものの要部切断側面図であり、図 23 及び図 24 に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、19 はエッジ面に直交していると共に伝播光 18 が存在し得る範囲から外れた入射光、20 はエッジ面に角度をもった入射光をそれぞれ示している。

**【0020】**

図から明らかなように、この光電変換装置では、光ファイバと

guided satisfactorily. In the optical absorption layer 13, the photoelectric conversion is performed efficiently.

However, the diameter of a spot in an incident light 8 is usually larger.

**[0018]**

By the way, in this photoelectric-conversion device, the diameter of a spot of the propagation light 18 can be extended to the extent that the optical absorption layer 13 is made thin.

However, that extension is  $2\text{ }\mu\text{m}$  degrees, even when thickness of the optical absorption layer 13 is made below into  $0.04\text{ }\mu\text{m}$ , comprised such that it is difficult to make the output light from an optical fibre connect with high-efficiency.

When the diameter of a spot of an incident light 8 was large and starts a substrate 11, Most of those lights will be permeated, without reaching the optical absorption layer 13.

Therefore the light-receiving quantum efficiency including the coupling efficiency is very low.

**[0019]**

Fig. 25 is a principal-part cutting side view of the object which added the modification to the light-guide layer in the photoelectric-conversion device observed in Fig. 23 and 24.

The symbol and said symbol which were used in Fig. 23 and 24 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

In a diagram 19 is the incident light from which it separated from the range in which the propagation light 18 may be present while crossing orthogonally in an edge surface. 20 is the incident light which had the angle in the edge surface. The above is respectively shown.

**[0020]**

With this photoelectric-conversion device, clearly from a diagram, the light-guide layers 12

の結合効率を高めようとして、光ガイド層 12 及び 14 を厚く形成したのであるが、入射光 19 の大部分は光ガイド層 12 や 14 を透過してしまい、僅かに、入射光 20 は反射に依って光吸収層 13 を到達することができるのみであり、従って、このようにした場合も矢張り受光量子効率は低くなってしまふ。

**【0021】**

本発明は、光ファイバとの結合効率を向上させる為に厚い光ガイド層を用いた場合であっても、伝播光を光吸収層に効率良く集光させ得るようにして、光ガイド層を素通りする伝播光を低減させて受光量子効率の向上を実現しようとする。

**【0022】****【課題を解決するための手段】**

図 1 は本発明に依る光電変換装置に於ける構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図である。図に於いて、21 は n 型半導体基板、22 は n 型光ガイド層、23 はノンドープ光吸収層、24 は p 型光ガイド層、25 は絶縁体、26 は p 側電極、27 は n 側電極をそれぞれ示している。

**【0023】**

この光電変換装置は、図から明らかなように、図 23 について説明した従来のエッジ入力型半導体光電変換装置と同様な構成を採っていて、所謂、BH 構造

and 14 as the coupling efficiency with an optical fibre being enhanced were formed thickly.

However, most incident lights 19 transmit the light-guide layer 12 and 14. An incident light 20 can only reach the optical absorption layer 13 by reflection slightly.

Therefore, when doing in this way, a light-receiving quantum efficiency will become low.

**[0021]**

This invention, In order to improve the coupling efficiency with an optical fibre, even when it is the case where a thick light-guide layer is used As an optical absorption layer condenses a propagation light efficiently, it may make, and the propagation light which passes by a light-guide layer is made to reduce, and it is going to implement the improvement in a light-receiving quantum efficiency.

**[0022]****[SOLUTION OF THE INVENTION]**

Fig. 1 is a principal-part perspective view of the photoelectric-conversion device for explaining the component principle in the photoelectric-conversion device due to this invention.

In a diagram 21 is an n-type semiconductor substrate. 22 is an n-type light-guide layer. 23 is a non dope light absorption layer. 24 is a p-type light-guide layer. 25 is an insulator. 26 is a p side electrode. 27 is an n side electrode. The above is respectively shown.

**[0023]**

This photoelectric-conversion device has taken the similar component as the conventional edge input-type semiconductor photoelectric-conversion device explaining Fig. 23 clearly from the diagram.

A so-called and BH structure are formed.

をなしているのであるが、相違するところを列挙すると次の通りである。

**【0024】**

(a) 光ガイド層22及び24の材料組成を変化させて、屈折率に分布を持たせてあること。即ち、光吸収層23に近い部分では屈折率を高くすると共に離れるにつれて低くなるようにしてある。但し、常に、光吸収層23の屈折率に比較して低い値であるようにする。

**【0025】**

(b) 光ファイバとの結合が容易であるように、光ガイド層22及び24を厚くすること。

**【0026】**

図2は本発明に依る光電変換装置に於ける動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図であり、図1に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A)は図1に見られる線X-Xに沿って切断した縦断側面を表し、また、(B)は同じく図1に見られる線Y-Yに沿った屈折率分布を表し、28は伝播光、P<sub>1</sub>及びP<sub>2</sub>は伝播光28が光吸収層23を横切る点をそれぞれ示し、また、(B)では縦軸に諸半導体層などの厚さ方向の距離を、横軸に屈折率を採っており、nL<sub>1</sub>は滑らかな屈折率分布、nL<sub>2</sub>はステップ状の屈折率分布、L<sub>3</sub>は滑らかな屈折率分布nL<sub>1</sub>を生成させる為の組成分布を示し

However, it is as follows when enumerating different places.

**[0024]**

(a) Change the material composition of the light-guide layers 22 and 24.

Preserve the distribution to the refractive index.

That is, it is made to become low in the part near the optical absorption layer 23 as a refractive index is left, while becoming high.

However, compared with the refractive index of the optical absorption layer 23, it is always low value.

**[0025]**

(b) So that a connection with an optical fibre is simple, the light-guide layers 22 and 24 are thickened.

**[0026]**

Fig. 2 is a diagram explaining the photoelectric-conversion device for explaining the principle of operation in the photoelectric-conversion device due to this invention.

The symbol and said symbol which were used in Fig. 1 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

In a diagram, (A) shows the vertical-section side cut along line X-X observed in Fig. 1.

Moreover, (B) shows the refractive-index distribution in alignment with line Y-Y observed similarly in Fig. 1.

28 is a propagation light. P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub> respectively show the point that the propagation light 28 crosses the optical absorption layer 23.

Moreover, in (B), the distance of the thickness directions, such as a many semiconductors layer, is taken on a vertical axis, and the refractive index is taken on the horizontal axis.

nL<sub>1</sub> is a smooth refractive-index distribution. nL<sub>2</sub> is a step-like refractive-index distribution. L<sub>3</sub> shows the composition distribution for making the smooth refractive-index distribution nL<sub>1</sub> generate.

ている。尚、半導体層に対し、  
 (B)に見られるような屈折率分布をもたせることは普通に行われていて、例えば、多元化合物半導体は組成を変化させると屈折率が変化するため、その組成を組成分布  $L_3$  のように連続的に変化させることで目的とする屈折率分布  $n L_1$  を得れば良い。

#### 【0027】

さて、良く知られているように、光は屈折率が高い方へ曲げられる性質があるので、図1及び図2に見られる光電変換装置に於いては、光ガイド層22並びに24を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われるようにした場合、本来であれば、光ガイド層22或いは24を素通りして無効になってしまうような伝播光28も光吸収層23に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で光吸収層23を複数回に互って横切ることで、その都度、吸収が起こって光電変換が行われる。尚、図示されていないが、光吸収層23を中心とし、或る程度の拡がりをもって入射する光が主たる伝播光になることは云うまでもない。

#### 【0028】

前記したところから、本発明に依る光電変換装置に於いては、  
 (1) 一導電型化合物半導体基板(例えばn型基板21)上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層

In addition, keeping a refractive-index distribution which is observed by (B), to a semiconductor layer is performed normally.

If a multi-dimensional compound semiconductor changes a composition, since a refractive index will change for example, What is sufficient is just to obtain the refractive-index distribution  $nL_1$  which lets that composition the objective with making it change continuously such as composition distribution  $L_3$ .

#### [0027]

So, a light has the characteristic perverted to the one where a refractive index is higher as known well.

Therefore in the photoelectric-conversion device observed in Fig. 1 and 2, When the light-guide layer 22 and 24 are formed thickly and a connection with an optical fibre is made to be performed satisfactorily, It can be made to propagate in the condition that the propagation light 28 which passes by the light-guide layer 22 or 24, and becomes a no effect will also be condensed toward the optical absorption layer 23 if it is original. In that process, multiple times are covered and the optical absorption layer 23 is crossed.

Therefore absorption produces and a photoelectric conversion is performed each time.

In addition, although not illustrated, it does not need to say that the light irradiated with the flare of a certain degree centering on the optical absorption layer 23 turns into the main propagation lights.

#### [0028]

In the photoelectric-conversion device due to this invention from the above-mentioned place  
 (1) One conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer by which forms lamination sequentially on one conductivity-type compound-semiconductor substrate (for example, n-type substrate 21), and a light is irradiated from a direction parallel to the joining

(例えばn型光ガイド層)及びノンドープ化合物半導体光吸収層(例えばノンドープ光吸収層23)及び反対導電型化合物半導体光ガイド層(例えばp型光ガイド層)とを備えてなり、該各光ガイド層の屈折率は光吸収層に近い側が最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とするか、或いは、

(for example, n-type light-guide layer) And a non dope compound-semiconductor light absorption layer (for example, non dope light absorption layer 23) And an opposite conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer (for example, p-type light-guide layer) It is to provide an above.

The refractive index of a said each light-guide layer has a distribution so that it may become low as it is isolated so that the side near an optical absorption layer may become the highest.

It is characterized by the above-mentioned. or

#### 【0029】

(2) 光ガイド層に於ける屈折率分布の形状が光吸収層に向かって開く放物線型をなしていることを特徴とするか、或いは、

#### [0029]

(2) The parabolic type which the shape of the refractive-index distribution in a light-guide layer opens toward an optical absorption layer is formed.

It is characterized by the above-mentioned.

(3) 一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、該各光ガイド層の何れか一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつことを特徴とする。

Or (3) It is to provide the one conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer by which forms lamination sequentially on one conductivity-type compound-semiconductor substrate, and a light is irradiated from a direction parallel to the joining, a non dope compound-semiconductor light absorption layer, and an opposite conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer. The refractive index in any one of a said each light-guide layer has a distribution so that it may become low as it isolates and it may become the highest at the side near an optical absorption layer.

It is characterized by the above-mentioned.

#### 【0030】

#### [0030]

#### 【作用】

前記手段を採ることに依り、光ガイド層を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われるようにした場合であっても、本来ならば、光ガイド層を素通りして無効になってしまうよう

#### [EFFECT]

By employing above-mentioned means, a light-guide layer is formed thickly.

Even when it is the case where a connection with an optical fibre is made to be performed satisfactorily If it is original, it can be made to propagate in the condition that the propagation light which passes by a light-guide layer and

な伝播光も光吸収層に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で伝播光は光吸収層を複数回に亘って横切るので、その都度、吸収が起こって光電変換が行われるから、その全体から見た光電変換の効率は極めて高いものとなる。

becomes a no effect is also condensed toward an optical absorption layer. In that process, a propagation light covers multiple times and crosses an optical absorption layer.

Therefore absorption produces and a photoelectric conversion is performed each time. Therefore, the efficiency of the photoelectric conversion observed from that everything is extremely high.

### 【0031】

### [0031]

#### 【実施例】

図1に見られる光電変換装置を具体化したものを本発明に於ける第一実施例として説明する。

#### [Example]

That which materialized the photoelectric conversion device observed in Fig. 1 is explained as a first example in this invention.

### 【0032】

図示されている各部分に関する主なデータを例示すると次の通りである。

(1) n型半導体基板21について  
 材料: InP  
 不純物濃度:  $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$   
 厚さ:  $100 [\mu\text{m}]$

### [0032]

It is as follows when illustrating the main data about each part currently illustrated.

(1) About the n-type semiconductor substrate 21  
 Material: InP  
 Impurity Concentration:  $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$   
 Thickness:  $100 [\mu\text{m}]$

### 【0033】

(2) n型光ガイド層22について

材料: InPからInGaAsP (波長が $1.45 [\mu\text{m}]$ となる組成) に次第に変化する半導体結晶

不純物濃度:  $1 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$   
 厚さ:  $3.5 [\mu\text{m}]$

(3) ノンドープ光吸収層23について

材料: InGaAs  
 厚さ:  $1 [\mu\text{m}]$

### [0033]

(2) About the n-type light-guide layer 22  
 Material: Semiconductor crystallization which changes from InP to InGaAsP (composition from which a wavelength is set to  $1.45 [\mu\text{m}]$ ), gradually

Impurity Concentration:  $1 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$   
 Thickness:  $3.5 [\mu\text{m}]$

(3) About non the dope light absorption layer 23

Material: InGaAs  
 Thickness:  $1 [\mu\text{m}]$



**【0034】**

(4) p型光ガイド層24について

材料: InGaAsP (波長が1.45 [ $\mu\text{m}$ ]となる組成)からInPに次第に変化する半導体結晶

不純物濃度:  $1 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ]

厚さ: 3.5 [ $\mu\text{m}$ ]

(5) 絶縁体25について

材料: ポリイミド

**[0034]**

(4) About the p-type light-guide layer 24  
 Material: Semiconductor crystallization which changes from InGaAsP (composition from which a wavelength is set to 1.45 [ $\mu\text{m}$ ]) to InP gradually

Impurity Concentration:  $1 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$

Thickness: 3.5 [ $\mu\text{m}$ ]

(5) About an insulator 25

Material: Polyimide

**【0035】**

(6) p側電極26及びn側電極27について

材料: Au

(7) ストライプ・メサについて

幅: 10 [ $\mu\text{m}$ ]

長さ: 100 [ $\mu\text{m}$ ]

尚、光ガイド層22及び24の屈折率を連続的或いはステップ状に変化させることは容易であって、三元或いは四元或いは更に多元の半導体結晶を用い、組成を連続的に変化させることで容易に実現することができ、例えば、InGaAsP系の半導体結晶では、Pの組成を1 (屈折率小) ~ 0 (屈折率大) に変化させることで屈折率は大きく変化させることができる。

**[0035]**

(6) About the p side electrode 26 and the n side electrode 27

Material: Au

(6) About a stripe \* mesa

Width: 10 [ $\mu\text{m}$ ]

Length: 100 [ $\mu\text{m}$ ]

In addition, it is simple to change the refractive index of the light-guide layers 22 and 24 continuously or in the shape of a step, comprised such that it can implement easily by changing a composition continuously using the ternary, the Quaternary, or the semiconductor crystallization of further pluralism. For example, by InGaAsP type semiconductor crystallization, A refractive index can be largely changed by changing the composition of P to 1 (refractive-index smallness)-0 (refractive-index large).

**【0036】**

この第一実施例の光電変換装置が、前記説明した本発明に於ける原理と全く同じ動作をすることは勿論であり、光ガイド層22及び24の厚さは光吸収層23の厚さと無関係に厚くすることができ、光ファイバなどの出力光との結合効率を向上させて

**[0036]**

The photoelectric-conversion device of this first example, Of course, the completely same operation as the principle in this invention which performed above-mentioned explanation is performed.

Thickness of the light-guide layers 22 and 24 can be independently thickened with the thickness of the optical absorption layer 23. The coupling efficiency with output lights, such as an

光受信装置の感度を高めることができる。

**【0037】**

従来の標準的な光電変換装置に於いては、(光ガイド層の厚さ $\times 2$  + 光吸収層の厚さ) = 約2  $[\mu\text{m}]$  であるのに対し、第一実施例では前記したように8  $[\mu\text{m}]$  であり、従って、入射光との結合効率は大きく向上する。また、光ガイド層22及び24が前記したように3.5  $[\mu\text{m}]$  の厚さになっていても、入射する大部分の光を光吸収層23に到達させることが可能であり、従って、結合効率並びに内部量子効率は著しく高くなっていて、しかも、30  $[\text{GHz}]$  を越える周波数応答性を備えている。

**【0038】**

ところで、図2に見られるように、光ガイド層22及び24に於ける屈折率分布が放物線状をなしている場合、媒質は理想的な凸レンズとして作用するので、入射光8に起因する伝播光28を最も効率良く光吸収層23へ集中させることができ、優れた凸レンズを付加した構成と同じ効果が得られる。

**【0039】**

即ち、前記した構成をもった第一実施例に於いて、入射光8に起因する伝播光28はエッジから約24  $[\mu\text{m}]$  のところ、従って、点P<sub>1</sub>で光吸収層23を横切り、更に進行すると約72

optical fibre, can be improved, and the sensitivity of an optical receiver can be enhanced.

**[0037]**

In the conventional standard photoelectric-conversion device (Thickness of a light-guide layer  $\times 2$  + thickness of an optical absorption layer) = about 2  $[\mu\text{m}]$ . It is 8  $[\mu\text{m}]$  as described above in the first example to that.

Therefore, the coupling efficiency with an incident light improves largely.

Moreover, the light-guide layers 22 and 24 As described above, even if it forms the thickness of 3.5  $[\mu\text{m}]$ , the light of the majority to irradiate can be made to reach the optical absorption layer 23.

Therefore, the coupling efficiency and the internal quantum efficiency are remarkably high, and, moreover, provide the frequency responsiveness exceeding 30  $[\text{GHz}]$ .

**[0038]**

When the refractive-index distribution in the light-guide layers 22 and 24 has constituted the shape of a parabolic so that it may observe by the way, in Fig. 2, A medium is effected as an ideal convex lens.

Therefore the propagation light 28 resulting from an incident light 8 can be most efficiently centralized to the optical absorption layer 23. The same effect as the component which added the outstanding convex lens is obtained.

**[0039]**

That is, in the first example with the above-mentioned component, the propagation light 28 resulting from an incident light 8 is the place of about 24  $[\mu\text{m}]$  from edge.

When it follows, the optical absorption layer 23 is crossed at a point P<sub>1</sub> and it progresses further, it is the place of about 72  $[\mu\text{m}]$ .

[ $\mu\text{m}$ ]のところ、従って、点  $P_2$  で再び光吸収層 23 を横切る動作をする。

**[0040]**

この光電変換装置に於ける応答速度は、光吸収層 23 が薄く、且つ、光ガイド層 22 及び光吸収層 23 及び光ガイド層 24 で形成される pin 接合の容量が小さければ速くなり、この pin 接合の容量は、中央に在るストライプ・メサの幅が狭く、且つ、長さが短く、また、光吸収層 23 が厚ければ小さくなる。

**[0041]**

このように、光吸収層 23 の厚さには、高速性の面から見ると二律背反的要素が含まれ、光吸収層自体の特性からすると、高速化の為には薄いと良いのであるが、そのようにすると、pin 接合容量が大きくなるので余り薄くもできないので、それ等の兼ね合いが重要となる。

**[0042]**

しかも、光吸収層 23 を薄くすると光の吸収が少なくなるので、その状態で効率を維持、或いは、向上するには、例えばストライプ・メサを長大にすることが必要になるが、そのようにした場合、当然のことながら、pin 接合の容量が更に増大し、高速性の低下に結び付くことになる。

**[0043]**

第一実施例に於いて、ストライプ・メサの幅は変えず、効率を

Therefore, an operation which crosses the optical absorption layer 23 again by point  $P_2$  is performed.

**[0040]**

The response speed in this photoelectric-conversion device, If the optical absorption layer 23 is thin and the capacity of the pin junction formed in the light-guide layer 22, the optical absorption layer 23, and the light-guide layer 24 is small, It becomes quick.

Capacity of this pin junction, If the width of the stripe \* mesa which exists central is narrow, length is short and the optical absorption layer 23 is thick It becomes small.

**[0041]**

Thus, an antinomy-component is included in the thickness of the optical absorption layer 23 when observing from the surface of rapidity. When performing from an absorption optical layer itself property, because of speed improvement, it is sufficient that it is thin.

However, if it is made like that, because the pin-junction capacity will become large, not much thinly, it cannot do. Therefore, balance, such as that, becomes essential.

**[0042]**

And, if the optical absorption layer 23 is made thin, absorption of a light will decrease.

Therefore in order to perform an efficiency a maintenance or an improvement in that condition, For example, it is necessary to make a stripe \* mesa huge.

However, when making it like that, the capacity of a pin junction increases further with a natural thing.

It will be connected with a reduction of rapidity.

**[0043]**

In a first example, the width of a stripe \* mesa is not changed, but takes very seriously an efficiency, and sets length to 200 [ $\mu\text{m}$ ].

重視して長さを200 [ $\mu\text{m}$ ]とし、また、光吸収層23の厚さを1.5 [ $\mu\text{m}$ ]以下にした改変例を試作し、50 [ $\Omega$ ]の抵抗を負荷にしたところ、20 [GHz]以上の高速応答をさせることができた。

**【0044】**

光吸収層23の厚さが1 [ $\mu\text{m}$ ]の場合、量子効率、伝播光28が光吸収層23を垂直に一回横切ると80 [%]以上になる。前記改変例に於いては、伝播光28は24 [ $\mu\text{m}$ ]毎に光吸収層23を斜めに横切るので、ストライプ・メサの長さが200 [ $\mu\text{m}$ ]であるから六回以上も横切ることになる。

**【0045】**

ここで、光が光吸収層23を垂直に横切るよりも斜めに横切るのが光吸収を行う距離は長いから効率は向上すること、また、六回も横切ることから、略100 [%]の量子効率を達成している。尚、改変例ではなく、第一実施例、即ち、ストライプ・メサの長さが100 [ $\mu\text{m}$ ]のものでは、然程の効率低下なしに30 [GHz]以上の高速応答が可能になる。

**【0046】**

図3は本発明に於ける第二実施例を解説する為の光電変換装置の説明図であって、図1及び図2に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。

Moreover, the example of a modification which made thickness of the optical absorption layer 23 below 1.5 [ $\mu\text{m}$ ] is made as an experiment.

When the resistance of 50 [ $\Omega$ ] was made into the load, the high-speed response more than 20 [GHz] was able to be performed.

**[0044]**

When the thickness of the optical absorption layer 23 is 1 [ $\mu\text{m}$ ], A quantum efficiency will become more than 80 [%], if the propagation light 28 crosses the optical absorption layer 23 once vertically.

In the example of an above-mentioned modification, the propagation light 28 crosses the optical absorption layer 23 diagonally to every 24 [ $\mu\text{m}$ ].

Therefore since the length of a stripe \* mesa is 200 [ $\mu\text{m}$ ], it will cross 6 times or more.

**[0045]**

As for the distance which performs optical absorption, it is long that a light crosses diagonally rather than vertically the optical absorption layer 23. Therefore an efficiency improves. Moreover, it crosses no less than 6 times. From these, the quantum efficiency of abridging 100 [%] is attained.

In addition, not the example of a modification but a first example, that is, that whose length of a stripe \* mesa is 100 [ $\mu\text{m}$ ], It comes to be able to perform the high-speed response more than 30 [GHz] without a such efficiency reduction.

**[0046]**

Fig. 3 is an explanatory drawing of the photoelectric-conversion device for explaining the second example in this invention, comprised such that the symbol and said symbol which were used in Fig. 1 and 2 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

**【0047】**

図に於いて、(A)は縦断側面を表し、そして、(B)は(A)に見られる線Y-Yに沿った屈折率分布(実線)及び高屈折率半導体層位置のピッチ分布(破線)を表し、また、31Aは例えばn型InPからなる低屈折率半導体層、32Aは例えばp型InPからなる低屈折率半導体層、31Bは例えば厚さが5[nm]であるn型InGaAsからなる高屈折率半導体層、32Bは例えば厚さが5[nm]であるp型InGaAsからなる高屈折率半導体層、PCはピッチをそれぞれ示し、また、(B)では、縦軸に諸半導体層などの厚さ方向の距離を、横軸に屈折率及びピッチを採っており、 $n_{L1}$ は滑らかな屈折率分布、 $p_{L3}$ は滑らかな屈折率分布 $n_{L1}$ を生成させる為のピッチ分布を示している。尚、ピッチPCは図示されているように低屈折率半導体層31A或いは32Aの厚さに相当し、その厚さが光吸収層23から離れるにつれて大となるように、即ち、屈折率を高くしたい部分では低屈折率半導体層31A或いは32Aの厚さを薄く、また、屈折率を低くしたい部分では低屈折率半導体層31B或いは32Bの厚さを厚くすることで、屈折率に所望の分布をもたせている。

**【0048】**

このようにして屈折率分布を生成させる場合、低屈折率半導体層31Aや32A、そして、高屈折率半導体層31Bや32B

**[0047]**

In a diagram, (A) shows vertical-section side. And, (B) shows the refractive-index distribution (continuous line) in alignment with line Y-Y observed by (A), and a pitch distribution (broken line) of a high-refractive-index semiconductor layer position.

Moreover 31A is a low refractive-index semiconductor layer which consists of an n-type InP, for example. 32A is a low refractive-index semiconductor layer which consists of a p-type InP, for example. 31B is a high-refractive-index semiconductor layer which consists of n-type InGaAs whose thickness is 5 [nm], for example. 32B is a high-refractive-index semiconductor layer which consists of p-type InGaAs whose thickness is 5 [nm], for example. PC is a pitch. An above is respectively shown.

Moreover, in (B), the distance of the thickness directions, such as a many semiconductors layer, is taken on a vertical axis, and the refractive index and the pitch are taken on the horizontal axis.

$n_{L1}$  is a smooth refractive-index distribution.  $p_{L3}$  shows the pitch distribution for making the smooth refractive-index distribution  $n_{L1}$  generate.

In addition, a pitch PC is equivalent to the thickness of low refractive-index semiconductor layer 31A or 32A as illustrated.

Become large as that thickness separates from the optical absorption layer 23. That is, in the part which wants to make it high, thickness of low refractive-index semiconductor layer 31A or 32A is made thin. Moreover, in the part which wants to make it low, thickness of low refractive-index semiconductor layer 31B or 32B is thickened. This is keeping the desired distribution to the refractive index.

**[0048]**

Thus when making a refractive-index distribution generate, If each thickness of low refractive-index semiconductor layer 31A, 32A and high-refractive-index semiconductor layer

それぞれの厚さを波長の  $1/5$  の範囲内で制御すれば、図 3 に見られるように、滑らかな屈折率分布が得ることができる。

**【0049】**

前記説明した第一実施例に於いては、半導体結晶の組成を変えることで屈折率に分布をもたせたが、第二実施例に於いては、半導体結晶の組成は固定化し、低屈折率半導体層 31A (或いは 32A) と高屈折率半導体層 31B (或いは 32B) とを交互に積層し、且つ、それ等のピッチを変えることで屈折率に分布をもたせている。このピッチを変えるについては、低屈折率半導体層 31A などの厚さを変化させるだけでなく、高屈折率半導体層 32A などの厚さを変えるようにしても良く、また、両者の厚さを制御するようにしても良い。

**【0050】**

第二実施例に依る屈折率分布の制御手段は、第一実施例に依るそれと比較すると、屈折率分布の制御性は良好である。その理由は、組成の変化と屈折率の変化との関係は完全な直線的にならないこと、また、十分に制御された状態で連続的に組成を変化させるのに比較すると、半導体層の成長時に厚さを時間で制御する方が遙に容易であることに依る。

**【0051】**

図 4 は本発明に於ける第三実施例を解説する為の光電変換装置

31B, or 32B is controlled within the range of  $1/5$  wavelength, A smooth refractive-index distribution can obtain so that it may observe in Fig. 3.

**[0049]**

In the first example which performed above-mentioned explanation, the distribution was kept to the refractive index by changing the composition of semiconductor crystallization.

However, in the second example, the fixation of the composition of semiconductor crystallization is performed. Low refractive-index semiconductor layer 31A (or 32A) and high-refractive-index semiconductor layer 31B (or 32B) are laminated alternately. And, the distribution is kept to the refractive index by changing pitches, such as that.

About changing this pitch, It not only changes low refractive-index semiconductor layer 31A etc. thickness, but it may be made to change high-refractive-index semiconductor layer 32A etc. thickness. Moreover, it may be made to control both thickness.

**[0050]**

Control means of the refractive-index distribution due to a second example, Compared with that due to a first example, the control of a refractive-index distribution is favorable.

That reason is that the relationship of a change of a composition and a change of a refractive index is a complete thing not become linear. Moreover, it is based on it being very simpler to control thickness by the time compared with changing a composition continuously in the condition of having controlled sufficiently at the time of the growth of a semiconductor layer.

**[0051]**

Fig. 4 is an explanatory drawing showing the photoelectric-conversion device for explaining

を表す説明図であり、図 1 乃至図 3 に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。図に於いて、(A) は縦断側面を表し、そして、(B) は (A) に見られる線 Y-Y に沿った屈折率分布を表している。

#### 【0052】

本実施例が第一実施例と相違する点は、厚さが 1 [ $\mu\text{m}$ ] である p 型光ガイド層 24 が屈折率一定で分布をもたない単なる p 型 InP で構成されていることである。尚、不純物濃度は第一実施例と同じく  $1 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ] である。この実施例に於ける p 型光ガイド層 24 の形成は第一実施例に比較して極めて容易であって、ノンドープの InP 層を形成してから Zn を拡散して p 型化すれば良い。

#### 【0053】

さて、ここで、さきに説明した第一実施例を製造する工程について詳細に解説するが、その前に、気相成長装置及びそれに関連する事項の概略を説明する。図 5 は本発明で用いる気相成長装置の要部説明図を表している。図に於いて、31 は反応室、32 はガス送入管、33 は排気管、34 はガス流量を加減するガス制御弁、35 は基台、36 は基板をそれぞれ示している。

#### 【0054】

この気相成長装置は公知のものであって、反応室 1 にはガス送入管 32 及びガス制御弁 34 を

the third example in this invention.

The symbol and said symbol which were used in Fig. 1 or 3 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

In a diagram, (A) shows vertical-section side.

And, (B) shows the refractive-index distribution in alignment with line Y-Y observed by (A).

#### [0052]

The point that this example is different from a first example, It is that the p-type light-guide layer 24 whose thickness is 1 [ $\mu\text{m}$ ] consists of the mere p-type InP which does not have a distribution by refractive-index regularity.

In addition, an impurity concentration is  $1 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ] similarly with a first example.

The formation of the p-type light-guide layer 24 in this example is extremely simple compared with the first example, comprised such that what is sufficient is just to diffuse Zn and to p-type-ise, after forming InP layer of a non dope.

#### [0053]

So, the process which manufactures the first example explained previously is explained in detail here.

However, the outline of a vapour-phase-epitaxy device and the matter relevant to that is explained before it.

Fig. 5 shows the principal-part explanatory drawing of the vapour-phase-epitaxy device used with this invention.

In a diagram 31 is a reaction chamber. 32 is a gas feed pipe. 33 is an exhaust tube. 34 is a gas-control valve which adjusts a gas flow rate. 35 is a base. 36 is a substrate. The above is respectively shown.

#### [0054]

This vapour-phase-epitaxy device is a well-known thing, comprised such that in a reaction chamber 1, each of In source \* gas, Ga source \*

介して、Inソース・ガス、Gaソース・ガス、Asソース・ガス、Pソース・ガス、ドーパント・ガスのそれぞれを別個に送入することができるようになっていて、それらガスの熱分解及び基板36上への結晶成長なる化学反応を利用し、基板36の表面へ例えばInGaAsPなどの結晶をエピタキシャル成長させるようにしている。

#### 【0055】

本発明では、InGaAsPの組成を変化させた半導体結晶を多用しているので、そのInGaAsPの成長について詳細に説明する。

#### 【0056】

今、InGaAsPに於けるGaの組成をxで、そして、Asの組成をyで表すとする、InGaAsPを $Ga_x In_{1-x} As_y P_{1-y}$ と表すことができ、InPに格子整合させる為のx及びyは、  

$$x = 0.466y / (1.03 - 0.03y)$$
 の関係にある。

#### 【0057】

また、バンド・ギャップ・エネルギー $E_g$ は、  

$$E_g(y) = 1.35 - 0.72y + 0.12y^2$$
 のように変化する。

#### 【0058】

更にまた、yを小さくすると、 $Ga_x In_{1-x} As_y P_{1-y}$ の屈折率は大きくなる(詳細には、「永

gas, As source \* gas, P source \* gas, and dopant \* gas can be separately feeded now via the gas feed pipe 32 and the gas-control valve 34.

The heat decomposition of those gas and the chemical reaction which is crystal growth to a substrate 36 top are utilized. To the surface of a substrate 36, For example, it is made to perform the epitaxial growth of the InGaAsP etc. crystallization.

#### 【0055】

In this invention, semiconductor crystallization which changed the composition of InGaAsP is used abundantly.

Therefore the growth of that InGaAsP is explained in detail.

#### 【0056】

Supposing it expresses the composition of Ga in InGaAsP with x and it expresses the composition of As with y now InGaAsP can be expressed as  $Ga_x In_{1-x} As_y P_{1-y}$ . x and y for making InP lattice-match,  $x = 0.466y / (1.03 - 0.03y)$

It is in an above-mentioned relationship.

#### 【0057】

Band \* gap \* energy  $E_g$ ,  $eg(y) = 1.35 - 0.72y + 0.12y^2$

It changes as mentioned above.

#### 【0058】

Furthermore, if y is made small, the refractive index of  $Ga_x In_{1-x} As_y P_{1-y}$  will become large (refer in detail "3-5 group semiconductor mixed-crystal, Showa 63 K.K. corona company



井治男 他著、三—五族半導体混晶、昭和63年 株式会社コロナ社 発行」、を参照)。  
Yasuo Nagai et al.),).

**【0059】**

従って、x及びyを制御することで、屈折率が連続的に変化する半導体層を形成することができる。勿論、x並びにyは、反応室1に導入されるIn、Ga、As、Pの各ソース・ガスに於ける気相化合物の量の比率で制御される。

**【0060】**

具体的には、In、Ga、As、Pの各ソース・ガスを供給する管にコンピュータ制御の流量制御弁(マス・フロー・コントローラ)を取り付け、屈折率が設計された値となるように制御を行うものである。

**【0061】**

図6乃至図15は第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図、また、図16及び図17はソース・ガスの流量制御について説明する為の線図をそれぞれ表し、以下、これ等の図を参照しつつ詳細に説明する。尚、図1乃至図4に於いて用いた記号と同記号は同部分を表すか或いは同じ意味を持つものとする。また、図16及び図17では、縦軸にはガス流量を、そして、横軸には時間をそれぞれ採ってある。

**【0062】**

図6及び図16参照

**[0059]**

Therefore, a refractive index can form the semiconductor layer which changes continuously, by controlling x and y.

Of course, x and y are controlled by the ratio of the quantity of the gaseous-phase compound in each source \* gas of In, Ga, As and P which are introduced into a reaction chamber 1.

**[0060]**

The flow control valve (mass \* flow \* controller) of a computer control is specifically attached in the pipe which supplies each source \* gas of In, Ga, As, and P, and it controls to become the value with which the refractive index was designed.

**[0061]**

Fig. 6 or 15 is a principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example. Moreover, Fig. 16 and 17 respectively shows the diagram for explaining the flow control of source \* gas.

Hereafter, it explains in detail, referring diagrams, such as this.

In addition, the symbol and said symbol which were used in Fig. 1 or 4 shall show a part for said division, or shall have the same meaning.

Moreover, a gas flow rate is taken on a vertical axis, and the time is respectively taken on the horizontal axis in Fig. 16 and 17.

**[0062]**

Fig. 6 and diagram 16 reference

6 - (1)

直径が50 [mm]、厚さ300 [ $\mu\text{m}$ ] であって、n型ドーパントとしてSnをドーピングして $2 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ] とし、表面を鏡面研磨したInP基板21を用意する。

【0063】

6 - (2)

基板21の表面を強酸で清浄化処理してから気相成長装置の反応室31にセットする。尚、この後、図6に見られる各半導体層を気相成長させるのであるが、適用技術としては有機金属化学気相堆積 (metalorganic chemical vapour deposition: MOCVD) 法を採用する。

【0064】

6 - (3)

In、Ga、As、Pの各気相化合物の量の比率、従って、x及びyを制御し、当初は、基板21との界面がInPとなるように、また、厚さが約3.5 [ $\mu\text{m}$ ] となった状態に於いては、バンド・ギャップ・エネルギー $E_g$ が波長換算 ( $\lambda E_g$ ) で1.45 [ $\mu\text{m}$ ] となるようにx及びyを連続的に制御してn型光ガイド層22の成長を行う。また、光ガイド層22の構成材料に関する各ソース・ガスの他にn型とする為のドーパント・ガスとして $\text{H}_2\text{S}$ ガスを添加する。尚、光ガイド層22をn型にする為のドーパントにはシリコン (Si) を用いても良く、その際の

6-(1)

Diameters are 50 [mm] and the thickness 300 [ $\mu\text{m}$ ], comprised such that the InP substrate 21 which doped Sn, set to  $2 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ], and performed the mirror-surface polishing of the surface as an n-type dopant is prepared.

【0063】

6-(2)

After performing the cleaning process of the surface of a substrate 21 with strong acid, it sets to the reaction chamber 31 of a vapour-phase-epitaxy device.

In addition, the vapour phase epitaxy of each semiconductor layer observed in Fig. 6 is performed after this.

However, as an application technique, an organometallic chemical-vapour-deposition (metalorganic chemical vapour deposition: MOCVD) method is adopted.

【0064】

6-(3)

The ratio of the quantity of each gaseous-phase compound of In, Ga, As, and P, therefore, x and y are controlled. In the condition of having been set to about 3.5 [ $\mu\text{m}$ ] so that the boundary surface with a substrate 21 might be InP at the beginning x and y are controlled continuously and the n-type light-guide layer 22 is grown so that the band \* gap \* energy  $E_g$  may be set to 1.45 [ $\mu\text{m}$ ] by wavelength conversion ( $\lambda E_g$ ).

Moreover,  $\text{H}_2\text{S}$  gas as dopant \* gas for doing as the n-type other than each source \* gas about the construction material of the light-guide layer 22 is added.

In addition, silicon (Si) may be used for the dopant for making the light-guide layer 22 into a n-type. As for dopant \* gas in that case,  $\text{SiH}_4$  is common.

ドーパント・ガスは  $\text{SiH}_4$  が一般的である。

**【0065】**

図16にはn型光ガイド層22を成長させる際の各ソース・ガスの流量変化が明瞭に示されていて、(a)はInソース・ガス並びにPソース・ガスの流量変化を、また、(b)はGaソース・ガス並びにAsソース・ガスの流量変化をそれぞれ示している。

**[0065]**

The flow change of each source \* gas at the time of growing the n-type light-guide layer 22 is clearly shown in Fig. 16.

(a) shows the flow change of In source \* gas and P source \* gas, and (b) respectively shows the flow change of Ga source \* gas and As source \* gas.

**【0066】**

6-(4)

$y = 1$  の組成となるように In、Ga、As、P に関する気相化合物の量の比率、即ち、トリメチルインジウム ( $\text{TMI} : \text{In}(\text{CH}_3)_3$ )、トリエチルガリウム ( $\text{TEG} : \text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ )、アルシン ( $\text{AsH}_3$ )、ホスフィン ( $\text{PH}_3$ ) の流量を制御し、厚さが  $1 [\mu\text{m}]$  の  $\text{InGaAs}$  からなるノンドープ光吸収層23を成長させる。

**[0066]**

6-(4)

The ratio of the quantity of the gaseous-phase compound concerning In, Ga, As, and P so that it may become the composition of  $y = 1$ , that is, the flow of a trimethyl indium ( $\text{TMI} : \text{In}(\text{CH}_3)_3$ ), a triethyl gallium ( $\text{TEG} : \text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ), an arsine ( $\text{AsH}_3$ ), and a phosphine ( $\text{PH}_3$ ) is controlled, and the non dope light absorption layer 23 which is thin from  $\text{InGaAs}$  of  $1 [\mu\text{m}]$  is grown.

**【0067】**

6-(5)

In、Ga、As、Pの各気相化合物の量の比率を制御し、光吸収層23との界面に於いては、バンド・ギャップ・エネルギー  $E_g$  が波長換算 ( $\lambda E_g$ ) で  $1.45 [\mu\text{m}]$  である  $\text{InGaAsP}$  となるように、また、厚さが約  $3.5 [\mu\text{m}]$  となった状態に於いては、 $y = 0$ 、即ち、 $\text{InP}$  となるように  $x$  及び  $y$  を連続的に制御してノンドープの光ガイド層24の成長を行う。

**[0067]**

6-(5)

The ratio of the quantity of each gaseous-phase compound of In, Ga, As, and P is controlled. In the boundary surface with the optical absorption layer 23, so that the band \* gap \* energy  $E_g$  is  $\text{InGaAsP}$  which is  $1.45 [\mu\text{m}]$ , in wavelength conversion ( $\lambda E_g$ ) Moreover, in the condition of having been set to about  $3.5 [\mu\text{m}]$   $y = 0$ , that is,  $x$  and  $y$  are controlled continuously and the light-guide layer 24 of a non dope is grown so that it may be set to  $\text{InP}$ .

**【0068】**

図17には光ガイド層24を成長させる際の各ソース・ガスの流量変化が明瞭に示されていて、(a)はInソース・ガス並びにPソース・ガスの流量変化を、また、(b)はGaソース・ガス並びにAsソース・ガスの流量変化をそれぞれ示している。尚、ここで、 $E_g$ と $\lambda E_g$ との関係は、

$$E_g \text{ (単位 [eV])} = 1.24 / \lambda E_g \text{ (単位 [\mu m])}$$

で近似される。このようにして、図2の(B)に見られるような組成分布 $L_3$ 及び屈折率分布 $nL_1$ をもつ半導体結晶層を成長させることができた。

**6-(6)**

ガラス閉管中にウエハ及びZn化合物を封入し、温度を600[°C]、時間を約8[時間]としてZnの熱拡散を行って光ガイド層24をp型化する。

**【0069】**

図7参照

**7-(1)**

熱CVD (chemical vapor deposition)法を適用することに依り、厚さ例えば200[ns]のSiO<sub>2</sub>膜37を形成する。

**7-(2)**

リソグラフィ技術に於けるレジスト・プロセスを適用することに依ってレジスト膜38を形成する。

**【0070】**

図8参照

**[0068]**

The flow change of each source \* gas at the time of growing the light-guide layer 24 is clearly shown in Fig. 17.

(a) shows the flow change of In source \* gas and P source \* gas, and (b) respectively shows the flow change of Ga source \* gas and As source \* gas.

In addition, here the relationship of  $E_g$  and  $\lambda E_g$ , it approximates by  $E_g \text{ (unit [eV])} = 1.24 / \lambda E_g \text{ (unit [\mu m])}$ .

Thus, the semiconductor crystallization layer with composition distribution  $L_3$  and the refractive-index distribution  $nL_1$  which are observed by (B) of Fig. 2 was able to be grown.

**6-(6)**

A wafer and Zn compound are sealed in a glass closed pipe.

The thermodiffusion of Zn is performed at temperature, 600 [degree C] and time about 8 [hours], and the light-guide layer 24 is p-type-ised.

**[0069]**

Diagram 7 reference

**7-(1)**

By applying a heat CVD (chemical vapor deposition) method, for example, SiO<sub>2</sub> film 37, of thickness 200 [ns], is formed.

**7-(2)**

The resist film 38 is formed by applying the resist \* process in a lithography technique.

**[0070]**

Diagram 8 reference

## 8 - (1)

露光及び現像を行って、幅が例えば10 [ $\mu$ m]であるストライプのレジスト膜38を残す。

## 【0071】

図9参照

## 9 - (1)

エッチャントをフッ化水素酸とするウエット・エッチング法を適用することに依り、レジスト膜38をマスクとしてSiO<sub>2</sub>膜37の選択的エッチングを行って幅10 [ $\mu$ m]のストライプとする。

## 9 - (2)

レジスト膜38を溶解・除去する。

## 【0072】

図10参照

## 10 - (1)

エッチャントを塩酸系エッチング液とするウエット・エッチング法を適用することに依って、ストライプのSiO<sub>2</sub>膜37をマスクとしてp型光ガイド層24の表面から基板21内に達するメサ・エッチングを行う。

## 【0073】

図11参照

## 11 - (1)

エッチング・マスクとして用いたSiO<sub>2</sub>膜37を除去する。

## 11 - (2)

スピン・コート法を適用することに依り、メサ部分が十分に埋まるように感光性ポリイミドを塗布し、加熱硬化させる。

## 【0074】

## 8-(1)

Exposure and image development are performed and it leaves the resist film 38 of the stripe whose width is 10 [ $\mu$ m], for example.

## [0071]

Diagram 9 reference

## 9-(1)

By applying the wetness \* etching method which makes an etchant the hydrofluoric acid, the selective etching of the SiO<sub>2</sub> film 37 as a mask is performed, and make the resist film 38 be the stripe of width 10 [ $\mu$ m].

## 9-(2)

The resist film 38 is performed a dissolution \* removal.

## [0072]

Diagram 10 reference

## 10-(1)

By applying the wetness \* etching method which makes an etchant hydrochloric-acid type etching liquid, the mesa \* etching as a mask attained in a substrate 21 from the surface of the p-type light-guide layer 24 is performed the SiO<sub>2</sub> film 37 of a stripe.

## [0073]

Diagram 11 reference

## 11-(1)

The used SiO<sub>2</sub> film 37 as an etching \* mask is removed.

## 11-(2)

By applying a spin \* coat method, a photosensitive polyimide is applied so that a mesa part may be buried sufficiently.

A heating hardening is performed.

## [0074]

## 図 12 参照

12-(1)

メサ部分の頂面のみを覆うフォト・マスク 39 を介して紫外線照射に依る露光を行う。

## Diagram 12 reference

12-(1)

Exposure due to a ultraviolet irradiation is performed via the photo \* mask 39 which covers only the top face of a mesa part.

## 【0075】

## 図 13 参照

13-(1)

現像を行うとメサ部分頂面に在った感光性ポリイミドは重合していないから除去されてしまう。これに依り、図 1 について説明したメサ部分を埋め込んだポリイミドからなる絶縁体 25 が得られる。

## [0075]

## Diagram 13 reference

13-(1)

If it develops, since it is not polymerising, it will remove the photosensitive polyimide which was in the mesa part top face.

The insulator 25 which consists of the polyimide which embedded the mesa part explaining Fig. 1 is obtained by this.

## 【0076】

## 図 14 参照

14-(1)

治具 40 に貼付したウエハに於ける裏面を定盤 41 上に撒布したアルミナの砥粒 42 と対向させて研磨する。

## [0076]

## Diagram 14 reference

14-(1)

The back-side in the wafer stuck on the jig 40 is made to oppose with the grinding particles 42 of the alumina sprinkled on the fixed board 41, and is polished.

## 【0077】

## 図 15 参照

15-(1)

スパッタリング法など従来の技術を適用することに依り、Au/Zn/Au からなる p 側電極 26 及び AuGe/Au からなる n 側電極 27 を形成する。

15-(2)

この後、劈開など従来の技術を適用することに依り、幅 200 [μm]、長さ 100 [μm] のチップにする。尚、図に見られる破線は劈開線を示している。

## [0077]

## Diagram 15 reference

15-(1)

By applying PRIOR ARTs, such as a sputtering method, the p side electrode 26 which consists of Au/Zn/Au, and the n side electrode 27 which consists of AuGe/Au are formed.

15-(2)

After this, it makes to the chip of width 200 [μm] and the length 100 [μm] by applying PRIOR ARTs, such as a cleavage.

In addition, the broken line observed in a diagram shows the cleavage line.

## 【0078】

## [0078]

**【発明の効果】**

本発明に依る半導体光電変換装置に於いては、一導電型化合物半導体基板上に順に積層形成され且つ接合に平行な方向から光が入射される一導電型化合物半導体光ガイド層及びノンドープ化合物半導体光吸収層及び反対導電型化合物半導体光ガイド層とを備えてなり、該各光ガイド層のうち、少なくとも一方に於ける屈折率が光吸収層に近い側で最も高く且つ離隔するにつれて低くなるように分布をもつようにしてある。

**【0079】**

前記構成を採ることに依り、光ガイド層を厚く形成して、光ファイバとの結合が良好に行われるようにした場合であっても、本来ならば、光ガイド層を素通りして無効になってしまうような伝播光も光吸収層に向かって集光されるような状態で伝播させることができ、その過程で伝播光は光吸収層を複数回に亘って横切るので、その都度、吸収が起こって光電変換が行われ、従って、その全体から見た光電変換の効率は極めて高いものとなる。

**【図面の簡単な説明】****【図1】**

本発明に依る光電変換装置に於ける構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図であ

**[EFFECT OF THE INVENTION]**

In the semiconductor photoelectric-conversion device due to this invention It is to provide the one conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer by which forms lamination sequentially on one conductivity-type compound-semiconductor substrate, and a light is irradiated from a direction parallel to the joining, a non dope compound-semiconductor light absorption layer, and an opposite conductivity-type compound-semiconductor light-guide layer.

The refractive index which can be set to one direction at least among said each light-guide layers has the distribution so that it may become low as it isolates so that it may become the highest at the side near an optical absorption layer.

**[0079]**

By employing an above-mentioned component, a light-guide layer is formed thickly.

Even when it is the case where a connection with an optical fibre is made to be performed satisfactorily The propagation light which will pass by a light-guide layer and will become a no effect if it is original, also can be made to propagate in the condition that it is condensed toward an optical absorption layer. In that process, a propagation light covers multiple times and crosses an optical absorption layer.

Therefore absorption produces and a photoelectric conversion is performed each time. Therefore, the efficiency of the photoelectric conversion observed from that everything is extremely high.

**[BRIEF EXPLANATION OF DRAWINGS]****[FIGURE 1]**

It is the principal-part perspective view of the photoelectric-conversion device for explaining the component principle in the photoelectric-conversion device due to this invention.

る。

**【図 2】**

本発明に依る光電変換装置に於ける動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図である。

**[FIGURE 2]**

It is a diagram explaining the photoelectric-conversion device for explaining the principle of operation in the photoelectric-conversion device due to this invention.

**【図 3】**

本発明に於ける第二実施例を解説する為の光電変換装置の説明図である。

**[FIGURE 3]**

It is the explanatory drawing of the photoelectric-conversion device for explaining the second example in this invention.

**【図 4】**

本発明に於ける第三実施例を解説する為の光電変換装置を表す説明図である。

**[FIGURE 4]**

It is an explanatory drawing showing the photoelectric-conversion device for explaining the third example in this invention.

**【図 5】**

本発明で用いる気相成長装置の要部説明図である。

**[FIGURE 5]**

It is the principal-part explanatory drawing of the vapour-phase-epitaxy device used with this invention.

**【図 6】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**[FIGURE 6]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**【図 7】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**[FIGURE 7]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**【図 8】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**[FIGURE 8]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**【図 9】**

第一実施例を製造する工程につ

**[FIGURE 9]**

It is the principal-part cutting side view of the



いて解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**【図 1 0】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**【図 1 1】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**【図 1 2】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**【図 1 3】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**【図 1 4】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**【図 1 5】**

第一実施例を製造する工程について解説する為の工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図である。

**【図 1 6】**

ソース・ガスの流量制御につい

photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**[FIGURE 10]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**[FIGURE 11]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**[FIGURE 12]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**[FIGURE 13]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**[FIGURE 14]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**[FIGURE 15]**

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point for explaining the process which manufactures a first example.

**[FIGURE 16]**

It is a diagram for explaining the flow control of source \* gas.

て説明する為の線図である。

**【図 17】**

ソース・ガスの流量制御について説明する為の線図である。

**[FIGURE 17]**

It is a diagram for explaining the flow control of source \* gas.

**【図 18】**

コヒーレント光通信を行う場合に用いるバランス型光受信装置を表す要部説明図である。

**[FIGURE 18]**

It is a principal-part explanatory drawing showing the balanced type light receiver used when performing the coherent optical communication.

**【図 19】**

表面入射型或いは裏面入射型の光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。

**[FIGURE 19]**

It is a principal-part perspective view for explaining the photoelectric-conversion device of a surface irradiation type or a back-side irradiation type.

**【図 20】**

光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 とを直線状に配置した状態を説明する為の要部斜面図である。

**[FIGURE 20]**

It is a principal-part perspective view for explaining the condition of having placed the photoelectric-conversion device 1 and the microwave amplifier 2 linear.

**【図 21】**

光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 との接続を説明する為の要部側面図である。

**[FIGURE 21]**

It is a principal-part side view for explaining the connection between the photoelectric-conversion device 1 and the microwave amplifier 2.

**【図 22】**

光電変換装置 1 とマイクロ波増幅器 2 とを接続する上で望ましい配置を説明する為の要部斜面図である。

**[FIGURE 22]**

It is a principal-part perspective view for explaining a desirable placement, when connecting the photoelectric-conversion device 1 and the microwave amplifier 2.

**【図 23】**

従来のエッジ入力型半導体光電変換装置を説明する為の要部斜面図である。

**[FIGURE 23]**

It is a principal-part perspective view for explaining the conventional edge input-type semiconductor photoelectric-conversion device.

**【図 24】**

図 23 に見られる光電変換装置を線 Y-Y に沿って切断した場

**[FIGURE 24]**

It is an explanatory drawing at the time of cutting along Y-Y line the photoelectric-conversion device observed in Fig. 23.

合の説明図である。

**【図 2 5】**

図 2 3 及び図 2 4 に見られる光電変換装置に於ける光ガイド層に改変を加えたものの要部切断側面図である。

**[FIGURE 25]**

It is the principal-part cutting side view of the object which added the modification to the light-guide layer in the photoelectric-conversion device observed in Fig. 23 and 24.

**【符号の説明】**

2 1    n 型半導体基板  
2 2    n 型光ガイド層  
2 3    ノンドープ光吸収層  
2 4    p 型光ガイド層  
2 5    絶縁体  
2 6    p 側電極  
2 7    n 側電極

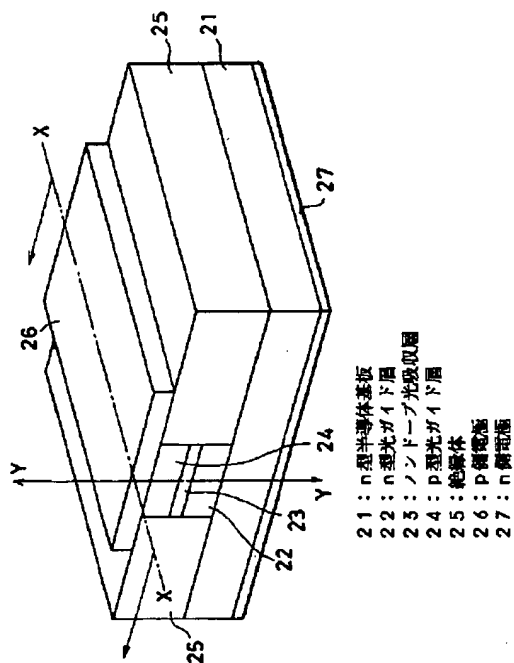
**[EXPLANATION OF DRAWING]**

21    N-type semiconductor substrate  
22    N-type light-guide layer  
23    Non dope light absorption layer  
24    P-type light-guide layer  
25    Insulator  
26    P side electrode  
27    N side electrode

**【図 1】**

**[FIGURE 1]**

構成原理を解説する為の光電変換装置の要部斜面図



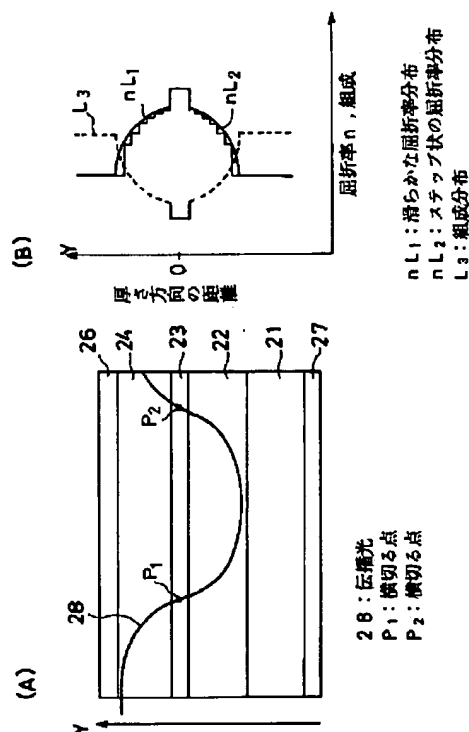
It is the principal-part perspective view of the photoelectric-conversion device for explaining the component principle.

- 21: N-type semiconductor substrate
- 22: N-type light-guide layer
- 23: Non dope light absorption layer
- 24: P-type light-guide layer
- 25: Insulator
- 26: P side electrode
- 27: N side electrode

【図 2】

[FIGURE 2]

動作原理を解説する為の光電変換装置を説明する図



It is a diagram explaining the photoelectric-conversion device for explaining the principle of operation.

X axis: refractive index  $n$ , composition

Y axis: distance in thickness direction

$nL_1$ : smooth refractive-index distribution.

$nL_2$ : step-like refractive-index distribution.

$L_3$ : composition distribution

28: propagation light

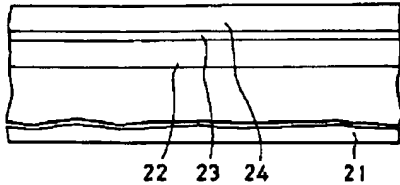
$P_1$ : the point where crosses

$P_2$ : the point where crosses

【図 6】

[FIGURE 6]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

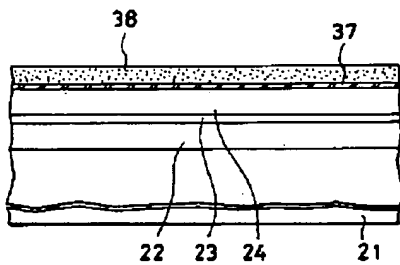


It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

【図 7】

[FIGURE 7]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



37:  $\text{SiO}_2$  膜  
 38: レジスト膜

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

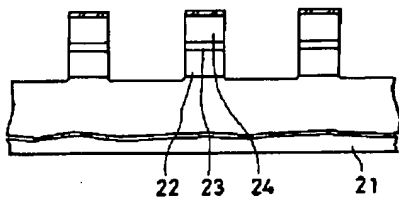
37:  $\text{SiO}_2$  film

38: resist film

【図 10】

[FIGURE 10]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

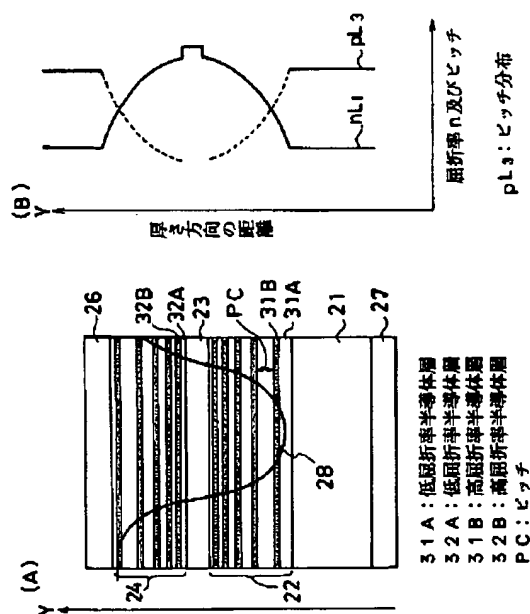


It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

【図 3】

[FIGURE 3]

第二実施例である光電変換装置を説明する図



It is the explanatory drawing of the photoelectric-conversion device that is the second example.

X axis: refractive index  $n$  and pitch

Y axis: distance in thickness direction

PL3: pitch distribution

31A : low refractive-index semiconductor layer

32A : low refractive-index semiconductor layer

31B :high-refractive-index semiconductor layer

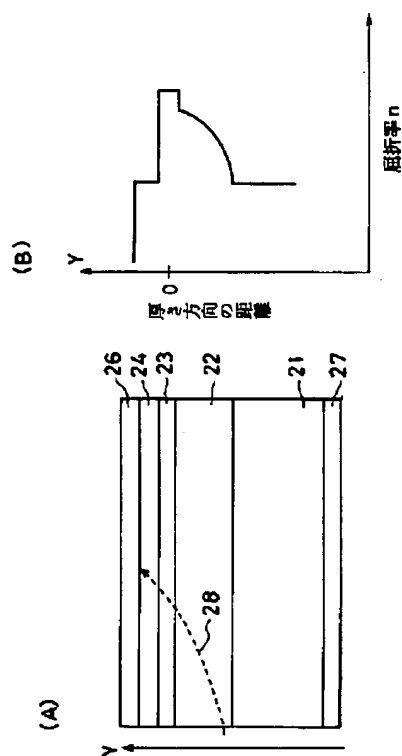
32B :high-refractive-index semiconductor layer

PC : pitch

【図 4】

[FIGURE 4]

第三実施例である光電変換装置を説明する図



It is the explanatory drawing of the photoelectric-conversion device that is the third example.

X axis: refractive index  $n$

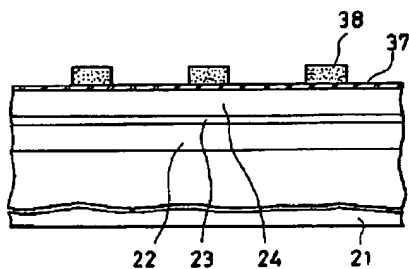
Y axis: distance in thickness direction



【図 8】

[FIGURE 8]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

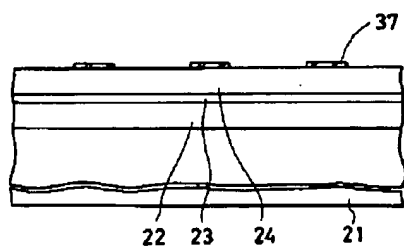


It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

【図 9】

[FIGURE 9]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

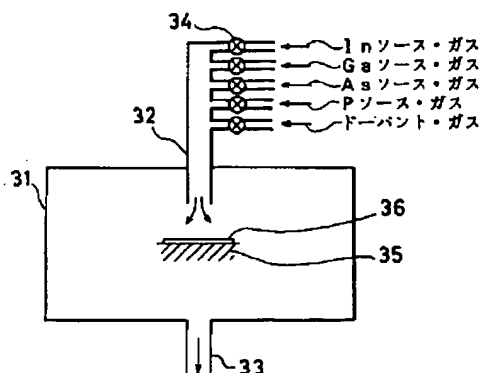


It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

【図 5】

[FIGURE 5]

気相成長装置の要部説明図



- 31 : 反応室  
32 : ガス送入管  
33 : 排気管  
34 : ガス制御弁  
35 : 基台  
36 : 基板

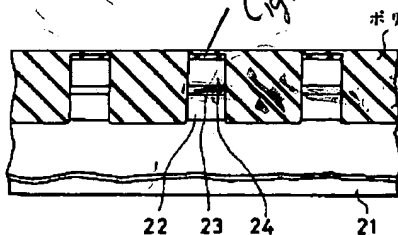
It is the principal-part explanatory drawing of the vapour-phase-epitaxy device.  
In source gas, Ga source gas, As source gas, P source gas, dopant \* gas

- 31 : reaction chamber  
32 : gas feed pipe  
33 : exhaust tube  
34 : gas-control valve  
35 : base  
36 : substrate

【図 11】

[FIGURE 11]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



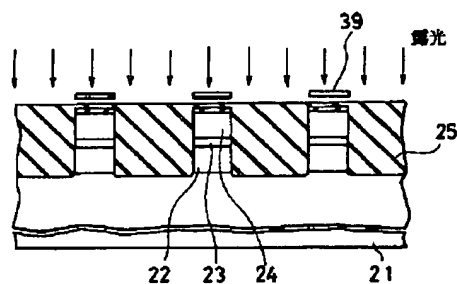
It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

polyimide

【図 1 2】

[FIGURE 12]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断断面図



39: マスク

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

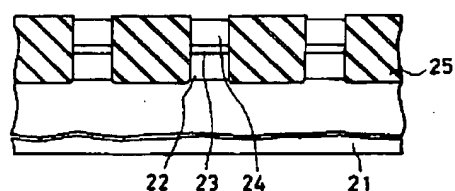
Expose

39: mask

【図 1 3】

[FIGURE 13]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

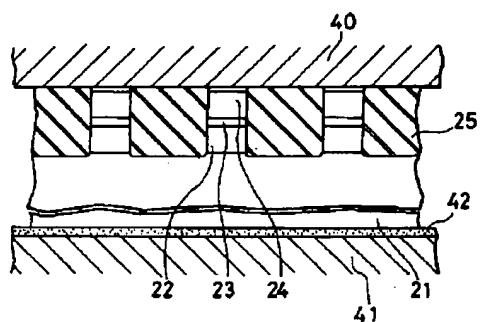


It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

【図 1 4】

[FIGURE 14]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図



40 : 治具  
 41 : 定盤  
 42 : 砥粒

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

40 : jig

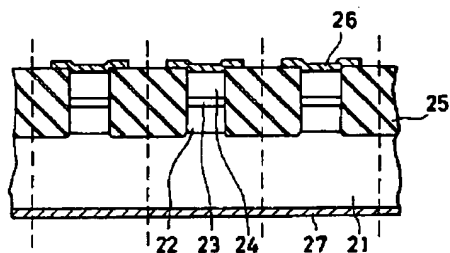
41: the fixed board

42: the grinding particles

【図 1 5】

[FIGURE 15]

工程要所に於ける光電変換装置の要部切断側面図

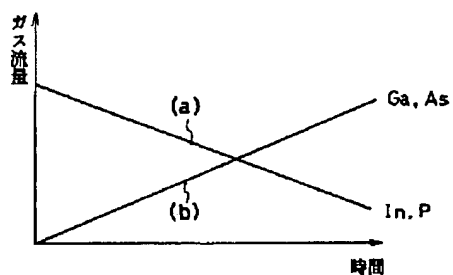


It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device in the process key point.

【図 1 6】

[FIGURE 16]

ソース・ガスの流量制 を説明する 図



It is a diagram for explaining the flow control of source gas.

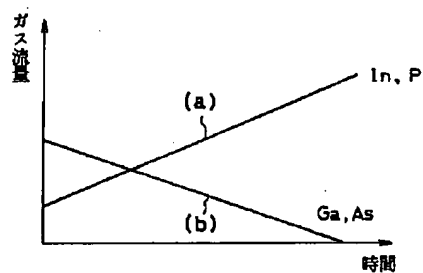
X axis: time

Y axis: gas flow amount

【図 17】

[FIGURE 17]

ソース・ガスの流量制御を説明する線図



It is a diagram for explaining the flow control of source gas.

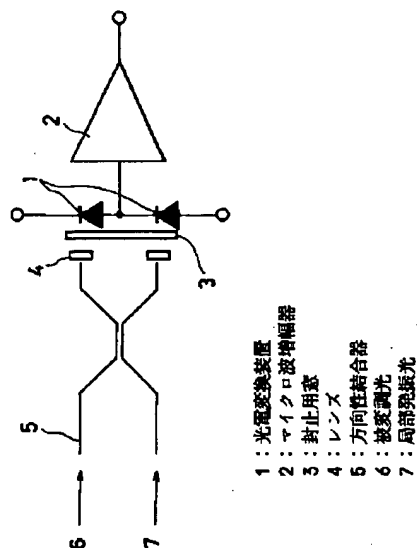
X axis: time

Y axis: gas flow amount

【図 18】

[FIGURE 18]

バランス型光受信装置の要部説明図



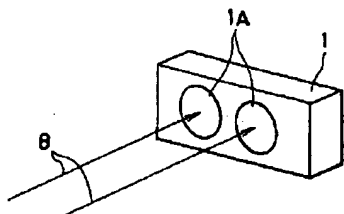
It is a principal-part explanatory drawing showing the balanced type light receiver.

- 1 : photoelectric-conversion device
- 2 : microwave amplifier
- 3 : window for a sealing
- 4 : lens
- 5 : directional couplers
- 6 : modulated radiation
- 7 : local oscillation light.

【図 19】

[FIGURE 19]

光電変換装置を説明する為の要部斜面図



1 : 光電変換装置  
 1A : 受光面

It is a principal-part perspective view for explaining the photoelectric-conversion device.

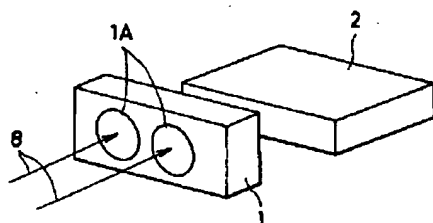
1: the photoelectric-conversion device

1A: Light-receiving surface

【図 20】

[FIGURE 20]

光電変換装置とマイクロ波増幅器の配置を説明する為の要部斜面図



1 : 光電変換装置  
 1A : 受光面  
 2 : マイクロ波増幅器  
 8 : 入射光

It is a principal-part perspective view for explaining the condition of having placed the photoelectric-conversion device and the microwave amplifier.

1: the photoelectric-conversion device

1A: Light-receiving surface

2: the microwave amplifier

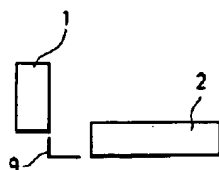
8: incident light

【図 21】

[FIGURE 21]



光電変換装置とマイクロ波増幅器の接続を説明する為の  
 要部側面図



- 1: 光電変換装置  
 2: マイクロ波増幅器  
 9: 電気配線

It is a principal-part side view for explaining the connection between the photoelectric-conversion device and the microwave amplifier.

1: the photoelectric-conversion device

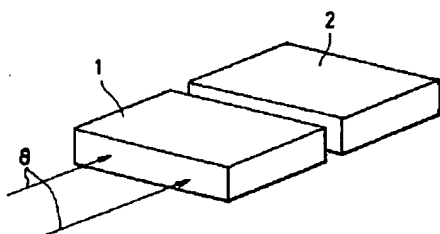
2: the microwave amplifier

9: Electrical wiring

【図 22】

[FIGURE 22]

光電変換装置とマイクロ波増幅器の好ましい配置を  
 説明する為の要部斜面図



- 1: 光電変換装置  
 2: マイクロ波増幅器

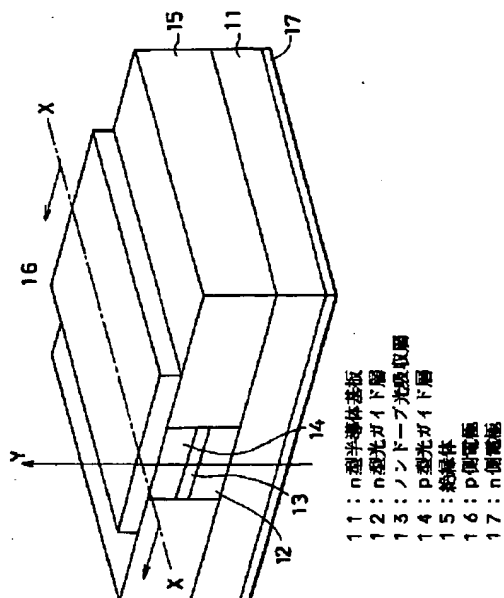
It is a principal-part perspective view for explaining a desirable placement of the photoelectric-conversion device and the microwave amplifier.

- 1: the photoelectric-conversion device  
 2: the microwave amplifier

【図 23】

[FIGURE 23]

エッジ入力型である光電変換装置の要部斜面図



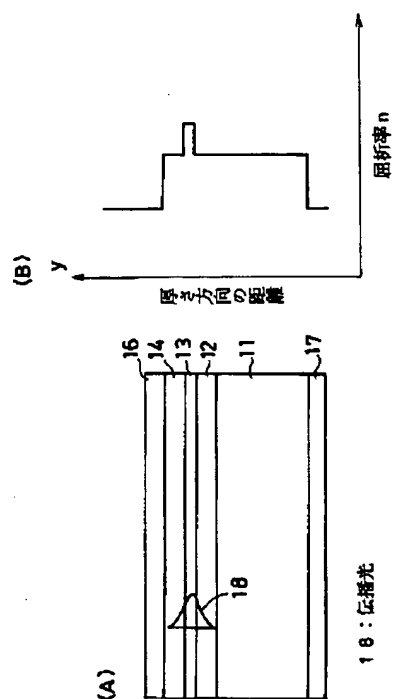
It is a principal-part perspective view of photoelectric-conversion device that is edge input-type.

- 11: N-type semiconductor substrate  
 12: N-type light-guide layer  
 13: Non dope light absorption layer  
 14: P-type light-guide layer  
 15: Insulator  
 16: P side electrode  
 17: N side electrode

【図 24】

[FIGURE 24]

光電変換装置の説明図



It is the explanatory drawing of the photoelectric-conversion device.

X axis: refractive index  $n$

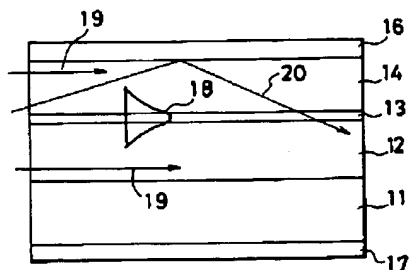
Y axis: distance in thickness direction

18: propagation light

【図 25】

[FIGURE 25]

光電変換装置の要部切断側面図



19: 入射光  
20: 入射光

It is the principal-part cutting side view of the photoelectric-conversion device.

19: incident light

20: incident light